

Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund-
und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. E. Harndt

Vergleichende
mechanisch-physikalische Untersuchungen
von 10 Silikatzementen

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät
der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
HILDEGARD DRESSLER
AUS BERLIN

1964

**Aus der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin**

Direktor: Professor Dr.med. Dr.med.dent. Ewald HARNDT

**Vergleichende mechanisch-physikalische
Untersuchungen von 10 Silikatzementen**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

an der

Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Hildegard Dreßler

aus Berlin

Dekan: Professor Dr.med. Hugo GASTEIGER

Referent: Priv.-Doz. Dr. Karl EICHNER

Korreferent: Professor Dr.med., Dr.med.dent. Ewald HARNDT



Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 24. 3. 1964

**Meiner lieben Mutter
in Dankbarkeit gewidmet**

Inhaltsverzeichnis

- A Einleitung
- B Hauptteil
 - I. Literaturübersicht
 - II. Herstellung der Prüfkörper
 - III. Untersuchungsmethoden und Ergebnisse
 - 1. Abbindezeit
 - a) Thermometrische Abbindekurven
 - b) Elektrisch registrierte Abbindekurven
 - 2. Schrumpfung - Quellung
 - a) Spaltbildung
 - b) Lineare Änderung
 - c) Gewichtsänderung
 - 3. Härte
 - 4. Kantenfestigkeit
 - 5. Abrasion
 - 6. Opazität
 - 7. FarbadSORption
 - IV. Diskussion der Ergebnisse
- C Zusammenfassung
- D Literaturnachweis
- E Lebenslauf

Einleitung

Bei der Fülle der angebotenen Silikatzemente ist es für den Zahnarzt schwierig, das geeignete Präparat herauszufinden. Aus Prospekten geht oft nicht hervor, inwieweit die an Silikatzemente zu stellenden Forderungen erfüllt werden. Ein ideales Füllungsmaterial für Frontzähne müßte folgende Bedingungen erfüllen:

- a) zahnfarbengleicher aussehen,
- b) die Transparenz des Schmelzes besitzen,
- c) unempfindlich gegenüber Farbeinflüssen sein,
- d) formkonstant sein,
- e) genügend Härte aufweisen, die der des Schmelzes nahek kommt,
- f) hohe Kantenfestigkeit haben,
- g) geringem Abrieb unterliegen, der ebenfalls dem des Schmelzes nahek kommt,
- h) ausreichende Widerstandskraft gegen chemische Einflüsse, Auflösung (Speichel und Säuren aus Nahrung und Gährung) besitzen,
- i) keine Schädigung der Pulpa bewirken,
- j) keinen thermischen Reiz durch zu hohe Abbinde- wärme ausüben,
- k) einfach in der Verarbeitung und
- l) wirtschaftlich sein.

Wegen dieser sehr unterschiedlichen Eigenschaften gibt es heute noch nicht den "idealen Zement". Eine gute, hervortretende Eigenschaft wird häufig auf Kosten einer anderen erkauft, die dann nicht befriedigt.

Die Beurteilung von Silikatzementen erfolgt an Hand physikalischer Daten. Diese kann man vergleichen und abwägen, welches Präparat den gestellten Anforderungen am nächsten kommt. Klinische Gesichtspunkte können in der Regel nicht so exakt umrissen werden, da das Milieu der Mundhöhle von Patient zu Patient zu unterschiedlich ist. Daher müssen mechanisch-physikalische Laborprüfungen angewendet werden, um Hinweise für das klinische Verhalten zu erlangen.

Es sind in den vergangenen Jahren bereits verschiedene diesbezügliche Untersuchungen vorgenommen und Arbeiten darüber veröffentlicht worden. Da aber ständig neue Präparate angeboten werden, ist es erforderlich, weitere Untersuchungen durchzuführen.

Die vorliegende Arbeit befaßte sich mit 10 zur Zeit im Handel befindlichen Silikatzementen, um sie auf ihre hauptsächlichsten Eigenschaften hin zu untersuchen und zu vergleichen.

Mit den angewendeten Prüfungen werden folgende Eigenschaften untersucht:

1. Abbindezeit
2. Schrumpfung - Quellung
3. Härte
4. Schlag- (Kanten-)festigkeit
5. Abriebfestigkeit (Abrasion)
6. Opazität
7. FarbadSORption

Die Namen der zur Untersuchung gelangten Silikatzemente und eines zu Vergleichszwecken mituntersuchten Kunststoffes sind:

I	SYNTREX	(DE TREY)
II	MAMORITH	(MAMOR-LABORATORIUM BERLIN)
III	FASER-PLEVETH	(" " ")
IV	PLEVETH	(" " ")
V	SUPER-MAMORITH	(" " ")
VI	ULTRA-SILIKAT	(BADENIA)
VII	OMNIFIL	(JOTA)
VIII	S.-S.-WHITE	
IX	B S 58	(BAYER)
X	SUPER-SYNTREX	(DE TREY)
XI	p-CADURIT	(ESPE)

Literaturübersicht

Mit der Erfindung des "künstlichen Zahnschmelzes" im Jahre 1903 durch den Zahnarzt Hugo ASCHER und den Chemiker Paul STEENBOCK wurde für die konservierende Zahnheilkunde ein bedeutender Fortschritt erzielt. Allerdings war für die Entwicklung der Silikatzemente (um einen solchen handelte es sich bei dem ASCHER-Zement) bis zu diesem Zeitpunkt bereits eine stattliche Anzahl von Jahren verwendet worden.

Wahrscheinlich verdanken sie ihren Ursprung dem Franzosen M. SOREL, dem es 1856 gelang, einen sog. Marmorkitt herzustellen. Dieser bestand aus Pulver und Flüssigkeit; das Pulver war geglühtes Magnesiumoxyd, die Flüssigkeit eine Magnesium-Chlorid-Lösung. Beide wurden vermengt und in die Kavität eingefüllt. Bald darauf ersetzte man Magnesium durch Zink. Mit diesem Zink-Chlorid-Zement war der erste brauchbare Zahnzement geschaffen. 1877 wurde dann von dem Zahnarzt ROSTAING der Zink-Phosphat-Zement eingeführt, der bis heute kaum verändert worden ist. FLETCHER konnte 1878 den ersten transluzenten Zement entwickeln, dessen Unterschied gegenüber dem Zinkphosphatzement darin bestand, daß das Zinkoxyd durch Aluminiumoxyd ersetzt worden war. Allerdings konnte sich dieses Zement noch nicht durchsetzen. Es gelang ASCHER erst 1903, ein beachtenswertes Füllungsmaterial zu schaffen. Der ASCHER-Zement rief jedoch bei den Zahnärzten große Kritik hervor, weil er sich verfärbte, z.T. auflöste und die Zahnpulpa schädigte. Dem ASCHER-Zement folgten bald der S.-S.-WHITE-Zement, DE TREY'S SYNTHETIC und andere. Mit diesen Zementen wurde experimentiert und der eine mit dem anderen verglichen. Es wurden auch von seiten der Zahnärzteschaft immer wieder Verbesserungsvorschläge gemacht, so daß ständig neue Präparate auf den Markt gebracht wurden.

Seit der Herausgabe der Spezifikation Nr. 9 der AMERICAN DENTAL ASSOCIATION im Jahre 1938, nach der Silikatzemente bestimmte Eigenschaften aufweisen sollen, ist eine grundlegende Richtlinie für die Herstellung geschaffen.

In der 1950 von der A.D.A. veröffentlichten Revision wurden diese ursprünglichen Forderungen erhöht. WEI-KART nahm 1949 Stellung zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe und gab den Forderungen DRUMS recht, der eine Prüfungsstelle und einheitliche Methoden zur Prüfung der Materialien verlangte.

Viele Autoren sind der Meinung, daß die Güte eines Silikatementes von der Korngröße des Pulvers abhängig ist. Je feiner das Pulver ist, desto homogener und widerstandsfähiger wird die Füllung (DIECK, GEYER, WANKENMACHER), desto kürzer ist die Abbindezeit (KLAUER; EFFINGER und FECHT, zitiert in EICHNER: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe) und desto größer ist die Transparenz (EFFINGER und FECHT). Außerdem ist die Güte einer Silikatfüllung abhängig von der Technik des Anrührens von Pulver und Flüssigkeit.

TITKEMEYER empfahl 1938 die von den JOTA-Werken herausgebrachte JOTA-THERMO-Anrührplatte nach F. C. MUNCH, mit der eine gleichmäßig niedrige Temperatur beim Anrühren eingehalten werden kann. Unter diesem Gesichtspunkt haben GRUNWALD, DICKSON, PAFFENBARGER und SCHOONOVER ein Gefäß entwickelt, in dem das Anmischen von Silikat frei von atmosphärischen Einflüssen möglich ist.

Die Frage, ob zur Verbesserung der Eigenschaften des Silikates versucht werden soll, ein Maximum an Pulver in ein Minimum von Flüssigkeit einzuspachteln, oder ob es besser ist, sich streng an die Herstellerangaben zu halten, wird immer wieder untersucht. KETTERL, der eine der umfassendsten Arbeiten der letzten Jahre über Silikat-zementfüllungen veröffentlicht hat, ist für Verwendung von möglichst viel Pulver unter Benutzung der gekühlten Anrührplatte. Auch DOLDER hat damit eine Verbesserung, hauptsächlich im Bezug auf Löslichkeit, feststellen können. HEROLD warnt vor Einrühren von zu wenig Pulver zum Zweck des Herauszögerns des Abbindungsbeginns,

um mehrere Füllungen auf einmal legen zu können, weil durch den ungebundenen Säureanteil eine Pulpenschädigung eintreten kann. SCHWARZKOPF ist für strengste Einhaltung der Herstellerrichtlinien, um eine gute Füllung anzufertigen.

Es wird häufig darauf hingewiesen, daß unbefriedigende Ergebnisse bei der Nachkontrolle an älteren Füllungen eine Folge unsachgemäßer Verarbeitung der Materialien sein kann (HARRIS, ARNOLD, HENNICKE). HARRIS sagt sogar, daß es für das Weglassen des Kofferdam's beim Applizieren einer Silikatfüllung keine Entschuldigung gibt auch HÄUPL spricht sich sehr für seine Anwendung aus und empfiehlt zusätzlich die Kerrmatrize. HARNDT empfiehlt ebenfalls den Spanngummi, hält aber auch bei genügender Übung die Anwendung der Hallerklammer für ausreichend.

Auch die schlechte Randständigkeit ist nach Meinung vieler Autoren eine Folge mangelhafter Verarbeitung. BURKI sagt, daß der Überschuß einen guten Randschluß gewährt und empfiehlt anschließend Politur. Demgegenüber stehen die Meinungen derer, die zur Erzielung bester Oberflächenbeschaffenheit jegliches nachträgliche Bearbeiten ablehnen (KETTERL, SCHWARZKOPF, DOLDER, GERLACH), allerdings empfehlen sie die Applikation des Füllungsmaterials unter Druck und z.T. die Beibehaltung des Druckes für die ersten 3 - 4 Minuten der primären Erhärtung. Nach JULEN bildet sich bei Druckapplikation eine blasenfreie Rindenschicht von 0,1 mm Dicke, die als korrosionsresistenter Schutz anzusprechen ist. Auch HARNDT vertritt den Standpunkt, daß der Dauererfolg für eine Füllung besser ist, je weniger sie nach der Erhärtung bearbeitet wird.

DOMIN und SCHULTE stellten vergleichende Untersuchungen über die Eigenschaften der Silikatzemente an, ebenso GRIESER. Sie kamen jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen. KÖRNER untersuchte die Transparenz und Wasseraufnahme der Silikate und fand heraus, daß ein Präparat mit der geringsten Wasseraufnahme die höchste Transparenz besaß.

KAUFMANN untersuchte und verglich den Kunststoff PALAVIT 55

mit Silikatzement. Die Werte schwankten bei ihm auffällig, was er auf das unterschiedliche Alter der Materialien zurückführt. Er fand für Silikatzemente eine Kantenfestigkeit von $0,70 \text{ kg cm} / \text{cm}^2$ und einen Abrieb von 227 mm^3 , machte aber keine Angaben über das Alter der Probekörper. HATTEMER ermittelte für SYNTREX an einem eine Woche alten Prüfkörper eine Schlagbiegefestigkeit von $0,68 \text{ kg cm} / \text{cm}^2$, gemessen mit dem DYNASTAT-Gerät. DIETERLE konnte bei SYNTREX einen Abrieb von 310 mm^3 an einem einen Tag alten, und 220 mm^3 an einem vier Wochen alten Probekörper messen.

Es ist vielfach versucht worden, durch Zusätze verschiedener Art oder Variierung der Bestandteile von Pulver und Flüssigkeit die Eigenschaften der Zemente zu verbessern. MANLY, BAKER, MILLER und WELCH gelang es aber nicht, dem Vergleichszement S.-S.-WHITE gegenüber nennenswerte Vorteile zu erzielen. MESCHKE versuchte einen kunststoffzusatz (H 60) zu Silikatzement, erzielte aber durchweg schlechtere Ergebnisse als mit kunststoff-freiem Zement. STANICIOIU, CHINTA und BARTNER gaben dem tschechoslowakischen Silikatzement SUPERFILLING Glanzseidenfasern von 1 - 5 mm Länge bei in einer Proportion von 10 - 20 %, z. T. fügten sie auch Asbestfasern bei. Die Versuche, die sich auf Kontraktion, Wasserabsorption und Zugwiderstand bezogen, verliefen gut, waren aber bei Veröffentlichung 1959 noch nicht abgeschlossen. NIRONEN schrieb 1940, daß es gefährlich ist, den Zement im Stadium der Abbindung zu bearbeiten. Außerdem betonte er, daß auch die Biegefestigkeit vom richtigen Anmischen abhängt. Er stellte fest, daß die Biegefestigkeit an trockenen Silikatzementproben größer war als an feuchten. Nach KNAPPWOST erhöht sich die Biegefestigkeit durch Beimengung von 3 mm langen und 10 μ dicken Fasern ins Pulver um das Dreifache.

ZIMMERMANN, der eine Reihe von Silikatzementen untersuchte, sagte, daß alle geforderten Eigenschaften in einem

möglichst günstigen Verhältnis aufeinander abgestimmt sein müßten und daß am wichtigsten Farb- und Formkonstanz sowie Widerstand gegen chemische Einflüsse seien.

Verschiedene Autoren haben Silikatzemente und Kunststoffe als Frontzahnfüllungsmaterial gegenübergestellt und Vor- und Nachteile gegeneinander abgewogen. SKINNER lobt die Härte, Dimensionsstabilität und Farbbeständigkeit der Silikatzemente, sagt aber den Kunststoffen geringere Pulverschädigung und größere Unempfindlichkeit gegen Speichelinwirkung nach und glaubt durch Fluoridzugabe die Entstehung von Sekundärkaries unter Kunststoff-Füllungen mindern zu können. COY sieht sowohl die Silikate als auch die Kunststoffe nur als vorläufige Behelfe an. DOLDER wies 1957 darauf hin, daß zwar der Kunststoff eher zu Ecken- und Schneidekantenersatz taugt als der Silikatzement, auch haftfähiger und korrosionsresistenter ist als dieser, aber eher zur Verfärbung und schlechtem Randschluß neigt. So ist auch zu verstehen, daß es dem Kunststoff nach 15jähriger Verwendung nicht gelungen ist, den Silikatzement zu verdrängen.

Herstellung der Prüfkörper

Die Größe und Form eines zu untersuchenden Probestückes richtet sich nach der Eigenschaft, auf die es untersucht werden soll und nach der Apparatur, mit der die Untersuchung durchgeführt werden soll.

Sinnvoll wäre es, Untersuchungen an Prüfkörpern vorzunehmen, die in ihrer Größenordnung einer Füllung entsprechen und unter Meßbedingungen, die annähernd den normalen Mundverhältnissen (Temperatur, Flüssigkeitswechsel etc.) gerecht werden. Diese Anforderungen sind jedoch nicht streng durchzuführen, da schon durch die Konstruktion der Meßapparatur Grenzen gesetzt sind.

Der Herstellung der Prüfkörper gingen Vorversuche voraus, in denen die genauen Gewichtsverhältnisse Pulver : Flüssigkeit, gestützt auf Anweisungen in den Herstellerprospekten, festgestellt worden waren. Sie wurden für sämtliche Prüfkörper und alle Untersuchungsreihen genau eingehalten, denn Vergleiche der Proben untereinander sind nur wertvoll, wenn alle zu den gleichen Bedingungen hergestellt und behandelt worden sind. Fehlerquellen, die hierbei auftreten und zu Ungenauigkeiten in der Beurteilung führen können, sind: unterschiedliche Temperatur und Luftfeuchtigkeit beim Anmischen der Materialien, verschieden lange Anmischzeit (sie soll 1 Minute nicht überschreiten), unterschiedliche Behandlung der Proben, unterschiedliches Alter der Materialien etc.

Die Prüfkörper für die Versuchsreihen "Schrumpfung und Quellung", "Härte" sowie "Kantenfestigkeit" wurden mit einem Stahlblechrahmen, in dem sich vier Rechteckausschnitte befanden, hergestellt. Bei Benutzung dieser Form hatten die Proben eine Größe von 15,0 x 10,0 mm bei 3,0 mm Dicke. Zur Vermeidung der direkten Berührung des Silikates mit dem Stahl wurden die Kanten der Rechteckausschnitte

mit Wachs überzogen, was außerdem den Vorteil hatte, daß sich die Proben leichter entfernen ließen. Die Proben wurden mit Fingerdruck gestopft und mit Hilfe zweier Glasplatten und einem Gewicht bis zur primären Abbindung (ca. 10 Minuten) gepresst. Dann wurden sie vorsichtig aus der Form entfernt und ihre Ränder mit Schmirgelpapier der Stärke 00 geglättet. Nach einer weiteren Wartezeit von 50 Minuten wurden die Proben in eine feuchte Kammer getan, in der sie bis zu ihrer Untersuchung bei Zimmertemperatur aufbewahrt wurden.

Die Prüfkörper für die Versuchsreihe auf "Abriebfestigkeit" wurden in einer zylindrischen Form hergestellt. Ihre Größe betrug 16,0 mm Durchmesser und 8,0 mm Höhe. Ein eingelegter Zellophanstreifen diente dazu, auch hier die Berührung des Silikates mit dem Stahl wegen Gefahr der Korrosion zu vermeiden. Zum Pressen wurden wieder Glasplatten benutzt. Die Bearbeitung und Behandlung der Proben erfolgte nach der bereits beschriebenen Methode.

Die Proben zur Untersuchung der "Spaltbildung" wurden mit Hilfe von Kunststoff-Basisplatten, 1,65 mm dick, angefertigt, in die oval-runde Ausschnitte der Länge ca. 40 mm und Breite ca. 11 mm angebracht worden waren. Die Ovalform wurde deswegen gewählt, um die Ausbildung von Stengelkristallen an spitzen Ecken zu verhindern.

Zur Herstellung der Prüfkörper für die Untersuchungsreihe "Opazität" wurden in Kunststoff eingebettete Plastikringe von 30,0 mm Durchmesser und 1 mm Höhe benutzt. (Diese Größe entsprach dem Probenhalter am "Elrepho", mit dem die Untersuchungsreihe ursprünglich durchgeführt werden sollte.) Sie wurden ebenfalls innen ausgewachst und die Proben mit Glasplatten gepresst. Bis zu ihrer Untersuchung, 2 Wochen nach Herstellung, wurden sie gleichfalls in der feuchten Kammer aufbewahrt.

Alle Probekörper wurden 10 Minuten vor ihrer Untersuchung aus der feuchten Kammer entnommen, mit Fließpapier abgetrocknet und dann luftgetrocknet.

1. Abbindezeit

Unter Abbindezeit der Silikatzemente versteht man allgemein die Zeit, die vom Beginn des Anmischens von Pulver und Flüssigkeit bis zum Einsetzen der primären Erhärtung vergeht. Laut A.D.A.⁺⁾ Bestimmung soll diese zwischen der 3. und 8. Minute eintreten, um einerseits dem Zahnarzt genügend Zeit zur Verarbeitung des Materials zu lassen, andererseits, da das Füllungsmaterial während der primären Erhärtungszeit unbedingt vor Feuchtigkeit zu bewahren ist, den Patienten nicht zu lange mit offenem Mund warten zu lassen.

Man erfaßt den Abbindevorgang von Zementen allgemein nach zwei grundlegenden Methoden:

- a) nach der thermometrischen Methode, die darauf basiert, daß der Abbindevorgang exotherm verläuft;
- b) nach der elektrischen Registriermethode, die davon abhängig ist, daß sich innerhalb der Zementprobe das freie Wasser ändert und davon abhängig der Widerstandswert zunimmt.

a) Thermometrische Abbindekurven

Nicht nur meßtechnisch, sondern auch klinisch ist die auftretende Reaktionswärme beim Abbindevorgang der Silikatzemente von besonderer Bedeutung, weil bei zu starker Erhöhung direkte Pulpenschädigungen möglich sind. Der Feststellung dieser Reaktionswärme galt die erste Untersuchungsreihe.

Wie in der beigegebenen Skizze (Abb. 1) gezeigt wurde, ist ein Thermosgefäß mit Wasser von 37 °C gefüllt worden; diese Temperatur wurde während jeden Versuches mit Hilfe eines im Verschlußkorken angebrachten Kontrollthermometers überwacht. Außerdem war in den Verschlußkorken des Thermosgefäßes ein etwa 10 cm langes Glasröhrchen von 3 cm Durch-

⁺⁾ AMERICAN DENTAL ASSOCIATION

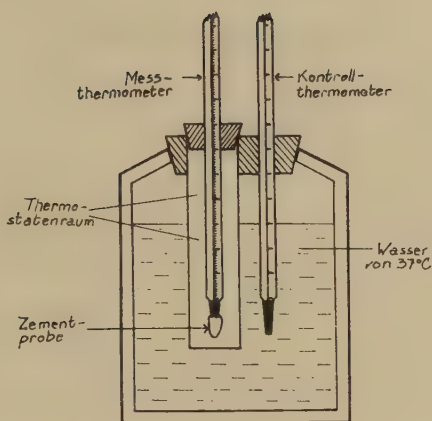


Abb. 1

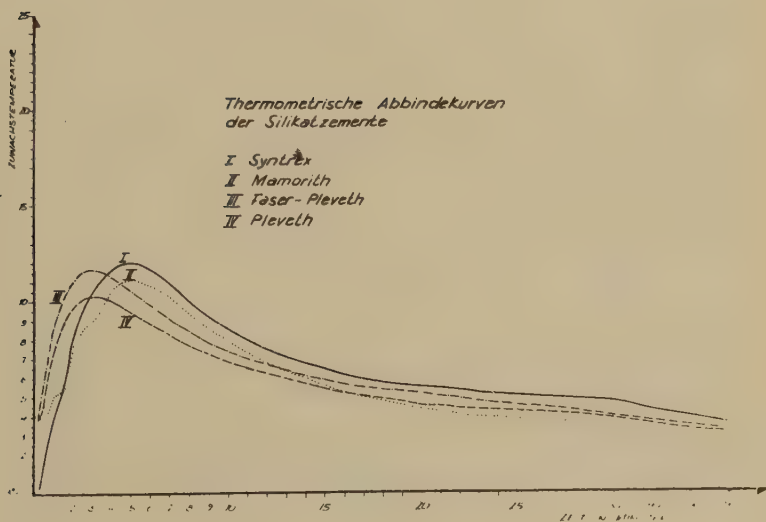


Abb. 2

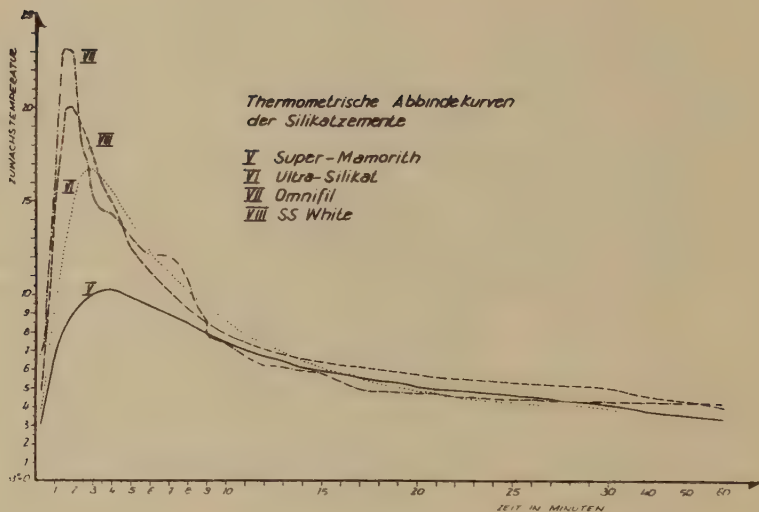


Abb. 3

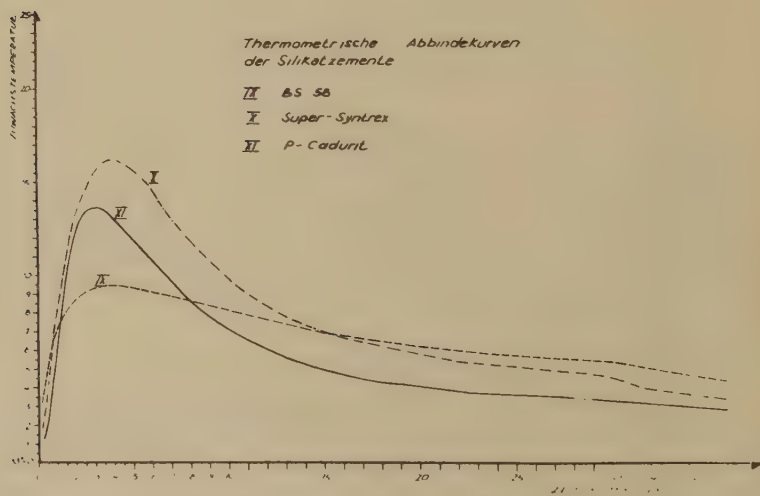


Abb. 4

messer eingepaßt worden, in dessen Verschluß sich ein Meßthermometer mit $1/10$ Gradeinteilung und einem Meßbereich von $0^{\circ} - 50^{\circ}$ befand. Sobald sich die im Thermostatenraum befindliche Luft auf 37°C erwärmt hatte, konnte der Versuch beginnen. Es wurde eine etwa bohngroße Zementprobe, die nach den vorher festgelegten Gewichtsverhältnissen hergestellt worden war, mantelförmig um die Kugel des Meßthermometers geknetet und in das Röhrchen eingebracht. In gleichbleibenden Zeitabständen wurde die Temperatur abgelesen. Die Wassertemperatur sank bis zur Beendigung des Versuches um 1° . Die Abb. 2 - 4 zeigen den Temperaturverlauf der Kurven. Es ist ersichtlich, daß die maximale Erwärmung bei den einzelnen Zementen nicht nur als absoluter Wert verschiedenen hoch lag, sondern auch zeitlich zwischen $1\frac{1}{2} - 5$ Minuten streute. Die Ausgangstemperatur wurde allgemein nach 50 - 60 Minuten wieder erreicht.

b) Die elektrisch registrierten Abbindungskurven konnten nach drei unterschiedlichen Methoden gewonnen werden. Die allgemein übliche Methode basiert darauf, daß man mit Hilfe zweier Metalle, z.B. Kupfer und Zink, und der dazwischen eingefügten plastischen Zementprobe ein galvanisches Element herstellt, dessen Potentialdifferenz mit zunehmender Erhärtung des Zementes ständig absinkt. Da diese Methode durch die Einwirkung von Polarisationserscheinungen in der Umgebung der Metallelektroden fehlerhaft ist, wurden die Messungen als reine Widerstandsmessung der Zementprobe durchgeführt.

Ergänzend zu den thermometrisch genommenen Abbindungskurven wurden für einige Zemente noch Abbindungskurven nach einer elektrisch gemessenen Widerstandsänderung der Prüfkörper aufgezeichnet. Der Prüfkörper ist hierbei eine kleine, stabförmige Zementprobe, die so klein dimensioniert ist, daß die für eine normale Silikatfüllung benötigte

Materialmenge kaum übertroffen wird. Dieses Stäbchen wird teigig in eine Plexiglasrille geknetet. Die Stromzuführungen für die Meßspannung sind speziell zugeschlifene Platinelektroden. Als Meßspannung werden 90 Volt Wechselstrom von 50 Perioden benötigt. Das Meßgerät ist ein speziell geeichtes Weicheisen-Spannbandgerät mit Lichtzeiger. Der bei der Erhärtung des Probestäbchens auftretende beständig zunehmende Spannungsabfall, der hier ganz ohne störende Polarisierungseffekte vor sich geht, ist ein direktes Maß für den sich ändernden Widerstand. Die so gewonnenen Kurven zeigen daher Charakteristika, die nach anderen Methoden nur mit sehr großem apparativen Aufwand gewonnen werden können.

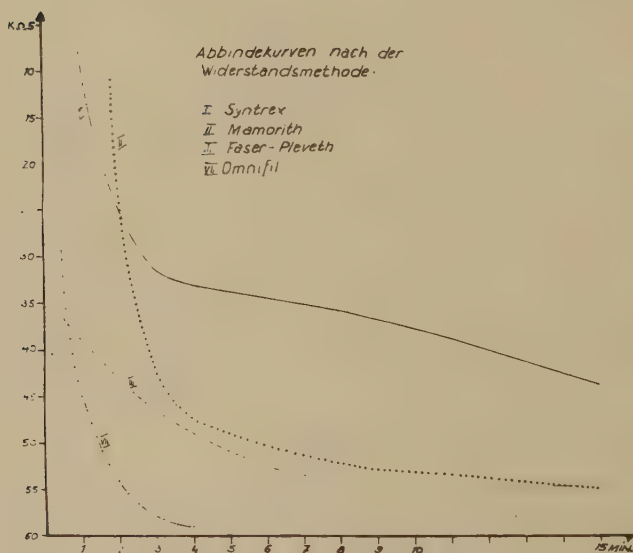


Abb. 5

Aus drucktechnischen Gründen konnte die
Wiedergabe der Abbildungen nicht erfolgen.
Bei Interesse wird gebeten, sie in der
Originalarbeit einzusehen.

Unter Normbedingungen angerührte Proben der Silikate wurden in eine Rille von halbkreisförmigem Querschnitt mit einem Glasstreifen eingepreßt und die mit Platinfolienhütchen bedeckten Elektroden, die drehbar angelenkt sind, unter Federdruck angepreßt. Die derart hergestellten Meßprobekörper haben damit bei einem Querschnitt von 14 mm^2 eine wirksame Länge von 18 mm, die für alle Messungen gleichbleibend und unveränderlich formiert sind.

Zur Vermeidung von Meßfehlern durch Polarisationsinflüsse wurde als signifikante Meßgröße der reine Widerstandswert der Probekörper in seiner zeitlichen Änderung verfolgt. Bei einer vorgelegten Meßspannung von 190 Volt Wechselstrom von 50 Perioden, stabilisiert durch Glimmröhren, wurde der Probekörper als x-Zweig einer WHEATSTONE-Brücke geschaltet. Nach der für alle Messungen konstant gebliebenen günstigen Einstellung der 3 anderen Brückenzweige, die in Vorversuchen ermittelt wurde, konnten in der Diagonalen der Brücke mit Hilfe eines Meßschreibers die Kurven aufgezeichnet werden (Abb. 6 - 9). Für alle Kurven beträgt der Vorschub pro Minute 1 cm; die gesamte Meßdauer pro Kurve setzt mit Ablauf der ersten Minute nach Anrührschluß ein und wurde über 30 bis 32 Minuten ausgedehnt, was aus den fortlaufenden Randziffern, die in Abständen von 2 cm = 2 Minuten auf die Meßpapierstreifen aufgetragen sind, zu ersehen ist. Registriert ist der Spannungsabfall; Meßbereich begrenzt auf 2 Volt. Der Vollausschlag = 2 V entspricht einem elektrischen Widerstand von 4 Kiloohm im x-Zweig der Brücke; der Koordinatenanfang hat den Widerstandswert von 50 Kiloohm im x-Zweig. Hierbei ist zu beachten, daß der Meßanfangspunkt rechts außen und der Meßschlußwert linksseitig liegt, wenn das Kurvenblatt gemäß seiner Lage im Tintenschreiben ausgerichtet wird.

Über die elektrischen Meßmethoden hinaus wurde der Gang

der Abbildungen der einzelnen Zemente noch durch eine Methode der Erhärtungsmessung verfolgt. Hierzu wurde eine besondere Meßvorrichtung, der Schlitten-Abbindungsprüfer nach E. KÖHLER (Abb. 10), benutzt.

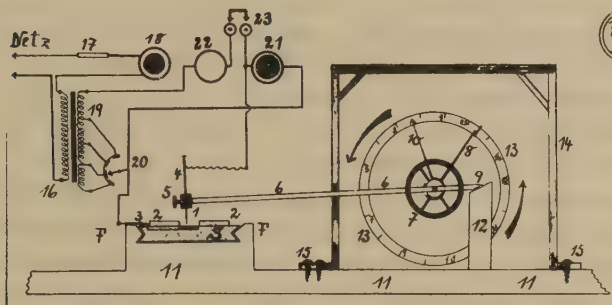


Abb. 10 (nach E. KÖHLER)
Prinzipieller Aufbau und Schaltbild des
Schlitten-Abbindungsprüfers mit elektrisch
signalisierter Meßanzeige. (Erklärung im Text.)

Der Schlitten-Abbindungsprüfer für Zemente

⌚) Das Meß-Prinzip

Ein in einer Parallelführung gleitender Objektisch, "Schlitten" genannt, enthält eine achsial verlaufende Rille von rechteckigem Querschnitt bei der gleichmäßigen Tiefe von 0,4 mm. In diese Rille wird mit Hilfe eines Objektträgers die unter Normbedingungen angemischte Zementprobe eingepreßt, so daß ein Probekörper von durchweg 0,4 mm Dicke entsteht. Über der Rille befindet sich eine Pt-Tastnadel an einem Mechanismus, der durch eine mittels Drehknopf spannbare Spiralfeder die Tastnadel mit meßbarem Druck durch den Zement drückt. Erreicht die Tastnadel die bei der Eichung festgelegte Null-ebene, wird durch ein elektrisch ausgelöstes Signal das Ende des Meßvorganges angezeigt.

Zu diesem Zeitpunkt gibt die Stellung eines Mitnehmezeigers auf einer Skala diejenige Kraft an, die zur Durchstoßung des Probekörpers aufgewendet werden mußte. Nach der Rückdrehung des Drehknopfes auf Null und Vorrücken des Schlittens um etwa 2 mm kann der Meßvorgang wiederholt werden, so daß in Zeitabständen von jeweils 1 Minute die zugehörigen Meßwerte ermittelt werden konnten.

β) Aufbau des Gerätes

Da der Apparat nicht veröffentlicht ist, soll er hier eingehender beschrieben werden.

Auf einem stabil ausgeführten Sockel 11 ist eine Parallelverschiebung montiert, in deren Falzen F ein Schlitten von etwa 10 cm Länge verschoben werden kann. Die Basis des Schlittens S trägt eine Zunge aus 20 karätigem Pt-Gold, neben der Plexiglasschienen so aufgeklebt sind, daß eine Rille von rechteckigem Querschnitt von 0,4 mm Tiefe entsteht. Die Goldzunge bildet den Rillenboden und ist über Kontaktfedern 3 mit dem elektrischen Meßkreis verbunden.

Seitlich vom Schlitten ist auf dem Sockel ein Rahmengestell 14 angebracht, das die nach dem Prinzip einer Torsionswaage konstruierten Druckgeber trägt. Um eine kräftig ausgeführte Stahlachse sind konzentrisch ein Waagebalken, ein handlicher Meßknopf und starr mit ihm verbunden ein Zeiger, ferner ein Mitnehmezeiger angeordnet. Meßknopf und Waagebalken tragen zwischen sich die Spannfeder: Drehung des Meßknopfes 7 in Richtung der Pfeile überträgt je nach der Federspannung den Druck auf den Waagebalken 6 und drückt dessen linkes Ende nach unten. Rückdrehung des Meßknopfes 7 im Uhrzeigersinne stellt die Waage durch Anschlag gegen den Prellbock 12 an der exakt ausgeschliffenen Fläche 9 auf Null. Der mit dem Meßknopf fest verbundene Zeiger 8 schiebt beim Meßvorgang den Mitnehmezeiger 10 vor sich her, der so den Endwert der Messung ohne Beachtung der Skala nachträglich abzulesen gestattet. Das linke Ende des Waagebalkens trägt die in der Klemmschraube 5 einstellbare Pt-Tastnadel 4, deren Spitze

bei der Nullstellung des Meßwerkes dicht über der Zementprobe 1 steht. Sollte eine Nachjustierung der Meßspitze erforderlich sein, so soll bei Nullstellung des Meßknopfes die Spitze der Nadel in Höhe der Plexiglas-schienen 2 stehen.

Die Eineichung des Meßwerkes geschieht mit Hilfe einer zweiarmigen Waage, eines Gewichtssatzes und einer behelfsmäßigen Nivelliereinrichtung. Das Ende eines jeden Meßvorganges, nämlich das Durchdringen der Meßnadel durch die 0,4 mm dicke Zementprobe, ist technisch in dem Augenblick gegeben, wenn die Nadelspitze die Goldzunge berührt. Da die Apparatur Nadel und Zunge als elektrisches Kontaktpaar schaltet, wird das Meßende optisch signalisiert im Augenblick des Erlöschens des Lämpchens 21 und Aufleuchten des Lämpchens 22. Akustisch ist die Anzeige noch schärfer: durch Anschließen eines niederohmigen Kopfhörers an den Buchsen 23, die bei Nichtbenutzung eines Kopfhörers kurz zu schließen sind, wird durch einen anschwellenden Brummtönen deutlich die erreichte Endlage der Nadel signalisiert.

Die Schaltung arbeitet über einen Abspann-Transformator direkt vom Netz aus; Aufleuchten der Glimmlampe zeigt an, daß der Trafo 16 arbeitet. Die Glimmlampe 18 ist durch den Begrenzungswiderstand 17 abgeschirmt. Der Sekundärkreis läßt über 4 Abgriffe am Spannungsschalter 20 eine Anpassung an extreme Meßbedingungen vornehmen. Der Signalkreis arbeitet mit den beiden hintereinander geschalteten Lämpchen 21 und 22; im Augenblick der Kontaktgabe zwischen Meßnadel und Goldzunge wird Lämpchen 21 überbrückt. Dieser Trick läßt die Zementprobe elektrisch unbelastet, denn die Stromstärke innerhalb der Zementprobe bleibt kleiner als 0,5 mA und daher die auftretende Stromwärme äußerst gering. Da die Schaltung mit Wechselstrom arbeitet, wird der Abbindungsvorgang auch nicht durch Polarisationsströme von den Kontaktgebern her beeinflusst. Der Erhärtungsvorgang der Zementproben wurde in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Messzahlen = Gewichte in g

Min.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	5	4,7	1,6	3,5	4	4,5	4,5	3,5	2,5	1,5	1,2
2	19,5	10	9	6,5	9	11,5	9,5	6,5	7,5	10,5	8,5
3	23	19,5	18,5	14	15,5	16	12,5	16,5	14	19	14,5
4	31	27	25	20	23	19	19,5	27	18	23,5	27
5	37	32	34	29	27	23	25,5	34	19,5	29	34,5
6	d	d	d	d	36*	31,5	29,5	o	28	36	h
7	d	d	d	d	d	d ⁺	d	h	d	d	
8	d	(d)o	o	d	o	d o	d ⁺		d	(d)o	
9	(d)	h	(d)	o	(d)	(d)	d		(d)o	(d)	
10	o		h	(d)	h	h	(d)o		(d)	h	
11	h			h			(d)		(d)		
12							(d)		h		
14							(d)				
16							(d)				
17							h				

Zeichenerklärung zu Tabelle 1:

d = dellbar

* = erheblicher Glanz

(d) = noch dellbar

+ = wenig Glanz

h = hart

o = Glanz verschwunden

Die aufgeführten Zahlen geben die Kraft in g an, die zur Durchstoßung der Proben aufgewendet werden mußte.

Die Versuche wurden bei einer Zimmertemperatur von $19,5^{\circ}$ durchgeführt.

Vergleichen wir nebeneinander die gewonnenen Meßwerte für die Abbindungen und die Erhärtung unserer Zementproben, fällt zunächst auf, daß allgemein die thermometrischen und die nach der Widerstands-Spannungsabfallmethode erhaltenen Kurven einen glatten Verlauf zeigen, hingegen die nach der Widerstandsbrückenmethode mit Hilfe des Spannungs-

schreibers gewonnenen Kurven wesentlich stärker wellig verlaufen. Hierin drückt sich die Überlegenheit der Messung nach reinen Widerstandsmethoden aus. Weiterhin machen sich bei den einzelnen Zementen recht erhebliche Unterschiede im Gang der Abbindungen bemerkbar. Besonders haben SYNTREX und OMNIFIL in ihrem Kurvenverlauf deutliche Haltepunkte (Stufen) im Gegensatz zu allen anderen Zementen, wobei bei SYNTREX diese Stufen im ansteigenden Ast, bei OMNIFIL hingegen im abfallenden Ast der Kurve liegen.

Zeitlich stimmen diese Stufen mit den Knickpunkten der nach der Widerstandsmethode erhaltenen Kurven überein. Weiterhin lassen sich die bei der Erhärtungsmessung herausgestellten Meßpunkte, insbesondere für den Moment des Verschwindens der Glanzreflexe, mit den Kurven koordinieren. Beispielsweise liegt dieser Punkt für SYNTREX bei einem Temperaturabfall von $3,4^{\circ}$ nach dem maximalen Temperaturanstieg, was zeitlich kurz vor der Mitte des abfallenden Kurvenastes liegt. Dieselben Werte liegen bei den übrigen Zementproben nach dem Temperatur-Maximum bei folgenden Temperaturabfällen:

II	MAMORITH	$1,7^{\circ}$	VII	OMNIFIL	$15,8^{\circ}$
III	FASER-PLEVETH	$3,2^{\circ}$	VIII	S.-S.-WHITE	$8,7^{\circ}$
IV	PLEVETH	$3,0^{\circ}$	IX	B S 58	$1,1^{\circ}$
V	SUPER-MAMORITH	$1,9^{\circ}$	X	SUPER-SYNTREX	$4,3^{\circ}$
VI	ULTRA-SILIKAT	$6,6^{\circ}$			

Auch in diesen Meßzahlen zeigt sich die starke Abweichung von OMNIFIL gegenüber den anderen Proben.

Kurz zusammengefaßt ergibt dieses Kapitel: die größte Abbindungswärme zeigen OMNIFIL mit $56,2^{\circ}\text{C}$ und S.-S.-WHITE mit 53°C ; die geringste hat B S 58 mit $42,5^{\circ}\text{C}$.

Die elektrisch aufgeschriebenen Kurven zeigen nur für die ersten 3 - 5 Minuten ihrer Laufzeit merkbliche Unterschiede in ihren Verläufen, dann werden sie einheitlicher.

Aus Tabelle 1 war zu entnehmen, daß S.-S.-WHITE der am schnellsten abbindende Zement ist; er ist nach 7 Minuten hart. Dann folgt MAMORITH mit 9 Minuten. OMNIFIL braucht zum Hartwerden 17 Minuten.

2. Schrumpfung - Quellung

An ein Füllungsmaterial wird stets die Anforderung nach Volumenkonstanz gestellt. Leider konnte diese Forderung bisher von den plastischen Füllungsmaterialien, zu denen das Silikatzement gehört, nicht erfüllt werden. Es hat sich gezeigt, daß Zemente schrumpfen, was auf Wasseraustritt bei dem Erhärtungsvorgang zurückzuführen ist. Dieser hat einen Spalt zwischen Füllungsmaterial und Kavitätenrand zur Folge.

Von einer Füllung erwartet man, daß sie den durch Karies oder Trauma entstandenen Defekt im Zahn schließt. Dies soll so geschehen, daß weder Luft noch Speichel weiteren Zutritt ins Kavitäteninnere haben.

Infolge der Spaltbildung wird der Entstehung von Sekundärkaries Vorschub geleistet. Die Spaltbildung kann sich in zwei Formen bemerkbar machen: 1. als Spalt zwischen Füllungsoberfläche und Zahnwand, 2. als Riß in der Füllungsoberfläche.

Das Kapitel "Schrumpfung - Quellung" kann ebenfalls von verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Die dazu durchgeführten Versuche sollen hier der Reihe nach aufgezählt und beschrieben werden.

a) Spaltbildung

In den Abbildungen 11 - 22 ist die Verhaltensweise einiger Silikatzemente in bezug auf Spaltbildung zwischen Oberfläche und Zahnwand wiedergegeben.

Die Proben sind nach der eingangs erwähnten Methode angerührt und in die vorbereiteten Formen gepresst worden. Nach einer Erhärtungszeit von 30 Minuten wurden sie mit ihrer Form in rote Gelatine eingebettet und für 24 Stunden in den Brutschrank bei 37 °C gelegt. Als Ergebnisse können erstens die Größe der Längenänderung nach erfolgter primärer Erhärtung der Zementprobe und zweitens die Differenz zwischen thermischer Ausdehnung der Zementprobe und der Formwandung ermittelt werden.

Die Aufnahmen wurden mit dem ZEISS-ULTRAPHOT gemacht, Optik: ZEISS-Luminar. Die verwendeten Brennweiten und Lichtstärken waren: bei 10facher Vergrößerung: 100 mm und 1 : 6,3; bei 16facher Vergrößerung: 63 mm und 1 : 4,5.

Die Abb. 11 zeigt die Übersicht einer Probenhälfte im Abb.-Maßstab 10 : 1, auf der die Dreischichtung der Materialien zu erkennen ist: links Form, rechts Probe, dazwischen als dunkler Streifen die den Spalt sichtbar machende rote Gelatine.

Die Abb. 12 - 22 zeigen Ausschnitte der Probenhälften im Abb.-Maßstab 16 : 1.

Der jeweils angegebene Wert für die Spaltbreite ist das arithmetische Mittel aus 10 Messungen, die an verschiedenen Stellen der Probe vorgenommen worden sind.

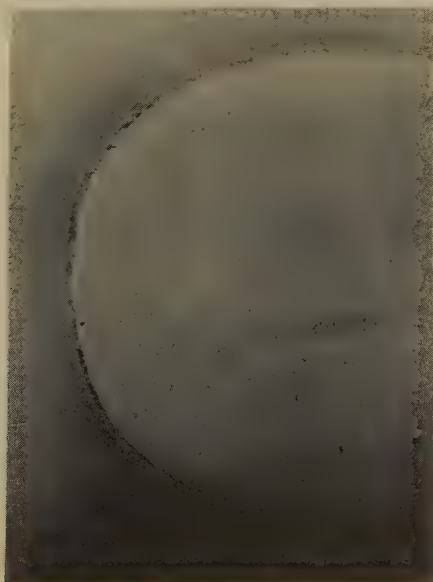
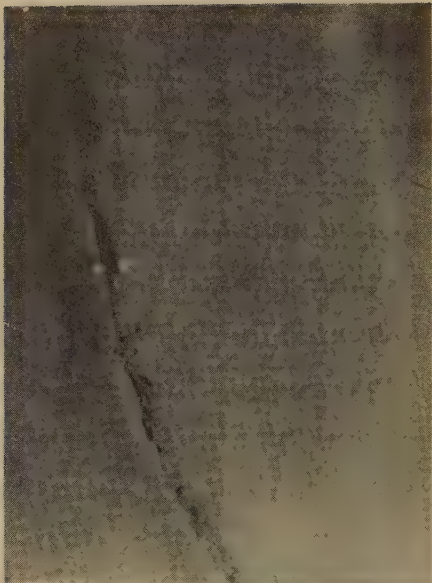
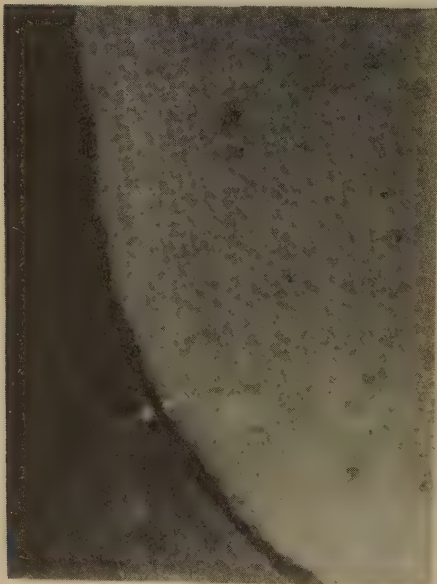


Abb. 11



I SYNTREX
Spaltbreite 90

Abb. 12



II MAJORITH
Spaltbreite 96 μ

Abb. 13



Abb. 14

III FASER-PLIVETH
Spaltbreite 176

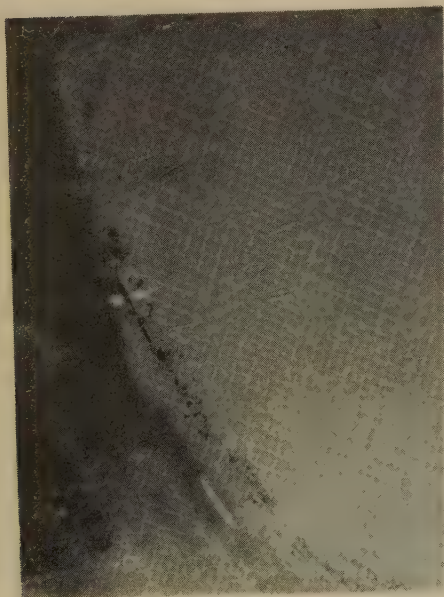


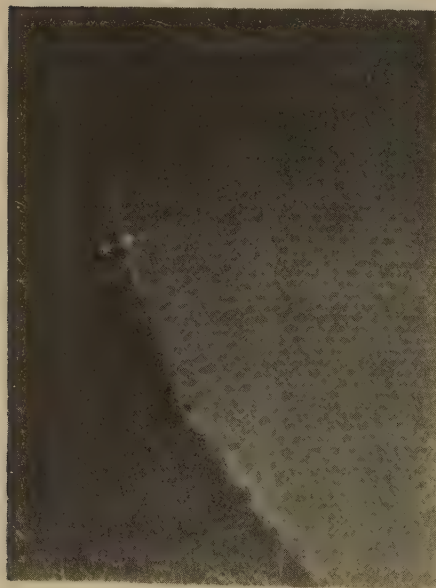
Abb. 15

IV PLEVETH
Spaltbreite 31 μ



V SUPER-FLAMORITH
Spalthbreite 39 μ

Abb. 16



VI ULTRA-SILIKAT
Spaltbreite 55 μ

Abb. 17



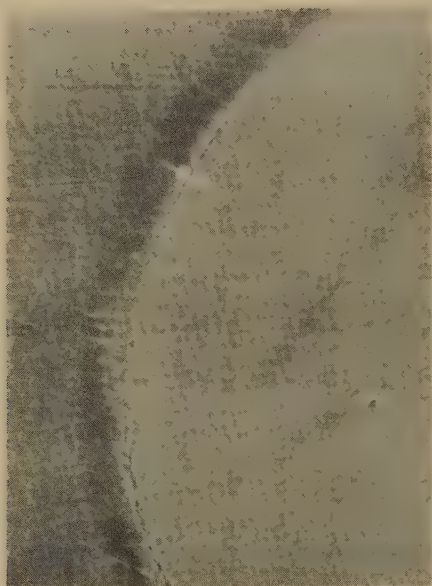
VII OMNIFIL
(bei Zimmertem-
peratur angerührt)
Spaltbreite 10 μ

Abb. 18



VII OMNIFIL
(unterkühlt, bei
+ 10 °C, angerührt)
Spaltbreite 75 μ

Abb. 19



VIII S.-S.-WHITE
Spaltbreite 39 μ

Abb. 20



IX B S 58
Spaltbreite 100 μ

Abb. 21



X SUPER-SYNTREX
Spaltbreite 46 μ

Abb. 22

b) Lineare Änderung

Zur Prüfung der Schrumpfung und Quellung dient gewöhnlich die Messung der Längenänderung in der Zeit.

Zu diesem Zweck wurden Versuchskörper in eine Meßuhr eingespannt, an der in bestimmten zeitlichen Abständen deren Verhalten abgelesen werden konnte. Diese Meßuhr der Firma CARL MARR /Esslingen hat eine linear verlaufende Skala mit $1/100$ mm Einteilung, an der die Abweichungen direkt abgelesen werden können. Eine Umdrehung des Meßzeigers entspricht der Weglängenänderung von 1 mm des Tastbolzens.

Die Versuchskörper wurden, nach einer Erhärungszeit von 1 Stunde, trocken in die Meßuhr gebracht. Nach einer weiteren Stunde, während der sie ebenfalls trocken gehalten wurden, erfolgte die 1. Ablesung. Danach wurden sie mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet und während des ganzen Versuches feucht gehalten. Während dieser ersten Stunde in der Meßuhr fand bei allen Versuchskörpern eine mehr oder weniger starke Kontraktion statt. Durch die Anfeuchtung mit Na Cl-Lösung kam diese zunächst zum Stehen und ging dann (mit Ausnahme des B S 58, das sich weiter kontrahierte) in eine geringe Expansion über. Diese Ablesung erfolgte nach wiederum einer Stunde. Nach weiterem Verbleiben in der Meßuhr, die Ablesungen erfolgten nun alle 24 Stunden, machte sich wiederum eine geringe Kontraktion bemerkbar, die nach ein paar Tagen zum Stillstand kam. Außenseiter blieb hierbei das OMNIFIL, das nach der ersten Kontraktion innerhalb von 24 Stunden erheblich, dann nur noch geringfügig expandierte, bis es zur Ruhe kam. Die lineare Änderung der einzelnen Zemente ist, in Kurvenform aufgetragen, in Abb. 23 wiedergegeben. Jeder Kurvenpunkt entspricht dem Mittelwert von 2 Messungen an verschiedenen Proben. Innerhalb der schraffierten Fläche liegen die Kurven I - VI, VIII, X und XI, die teilweise so dicht beieinander liegen bzw. in ihren Verläufen sich mehrfach überschneiden, daß sie einzeln nicht übersichtlich darzustellen waren.

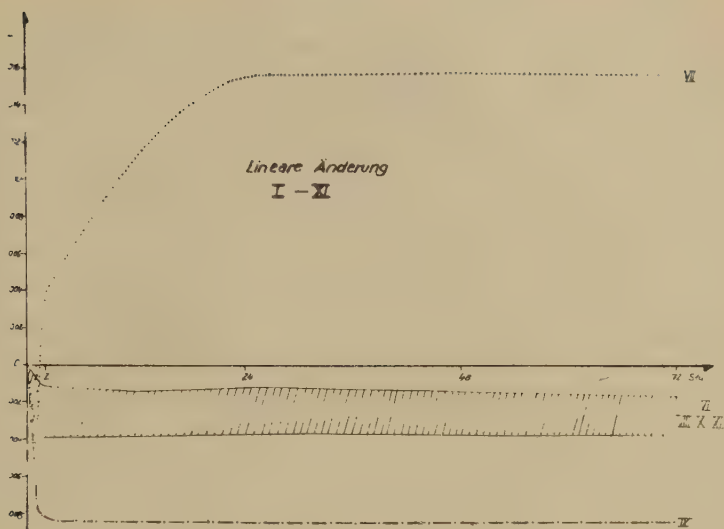


Abb. 23

c) Gewichtsänderungen

Zwei andere Versuchsreihen dienten der Feststellung von Gewichtsänderungen, die 1) bei der Lagerung von Versuchskörpern in ruhender, 2) bei Aufenthalt in durchfließender Na Cl-Lösung (2 Liter in 24 Std.) entstanden.

Die Versuchskörper bei 1) wurden, jedes Fabrikat für sich, in Petrischalen aufbewahrt, die sich zwischen den Wägungen im Brutschrank befanden. Die Gewichtsänderungen der einzelnen Zemente sind auf den Abb. 24 - 27 kurvenmäßig dargestellt. Trotz ihres zu Beginn etwas unterschiedlichen Verlaufes zeigen alle Kurven (außer Nr. VII) gegen Ende der Versuchsreihe eine einheitliche Tendenz: sie steigen an, was eine Gewichtszunahme der Zementproben bedeutet.

Die Versuchsreihe 2) wurde bei Zimmertemperatur (18 - 21 °C) durchgeführt.

Tabelle 2 zeigt in Gegenüberstellung die Gewichtsänderungen, die sich bei diesen Versuchsreihen ergaben.

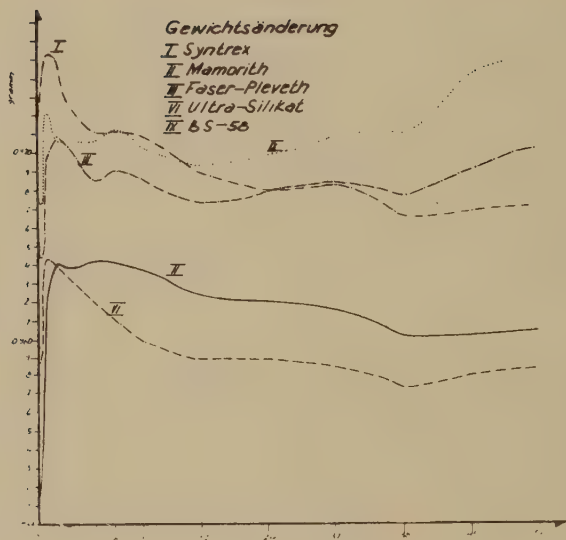


Abb. 24

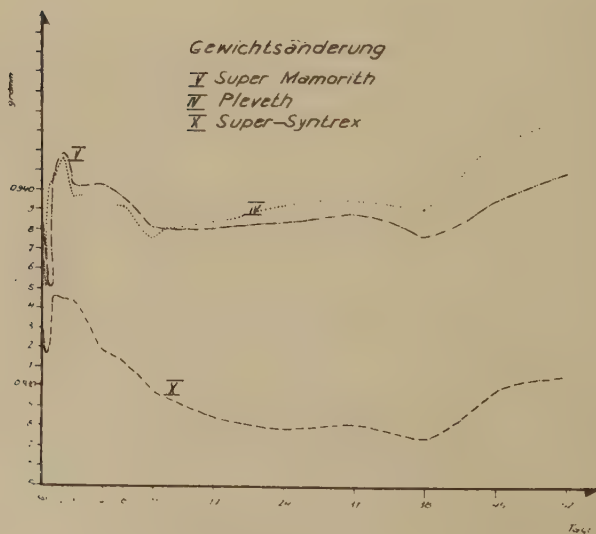


Abb. 25

Gewichtsänderung

VII Omnifil

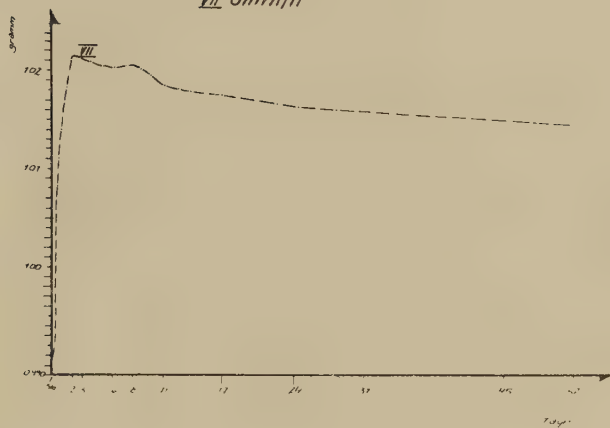


Abb. 26

Gewichtsänderung

VIII SS-White

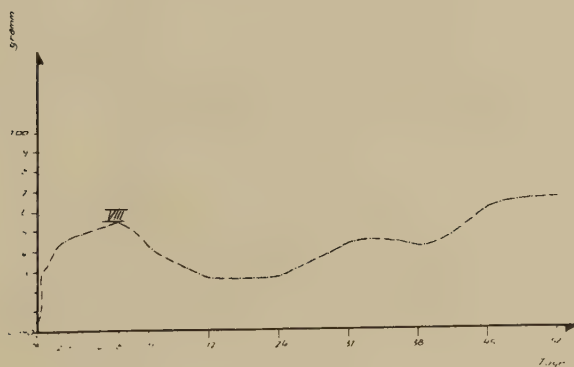


Abb. 27

Die aus Tabelle 2 ersichtlichen Werte sind reine Wiegewerte. Die Differenz zwischen Ausgangs- und Endgewicht ist in der letzten Spalte in Prozent wiedergegeben; minus bedeutet Abnahme, plus Zunahme vom Ausgangsgewicht. Die Verhaltensweise der Zemente ist hier wiederum sehr unterschiedlich. Die geringste Gewichtsänderung innerhalb der Versuchsreihe R zeigen SUPER-MAMORITH mit -0,01 % und ULTRA-SILIKAT mit +0,01 %. Dann folgen B S 58 mit +0,09 %, FASER-PLEVETH mit +0,20 %, PLEVETH mit +0,21 %, S.-S.-WHITE mit +0,22 %, SYNTREX mit -0,31 %, SUPER-SYNTREX mit -0,47 % und, mit Abstand, MAMORITH mit +1,13 %. Auch hier fällt besonders das OMNIFIL auf, das mit einer Gewichtszunahme von 2,74 % alle anderen Zemente weit übertrifft. Bemerkenswert ist ferner, daß 3 Zemente, nämlich SYNTREX, SUPER-MAMORITH und SUPER-SYNTREX an Gewicht verloren, während alle übrigen Zemente eine Gewichtszunahme aufwiesen.

In Versuchsreihe B ist die Reihenfolge anders, auch sind die Gewichtszu- bzw. -abnahmen (mit Ausnahme des MAMORITH, OMNIFIL und SUPER-SYNTREX) größer als in Versuchsreihe R. Die geringste Gewichtsänderung zeigt hier SUPER-SYNTREX mit +0,07 %, die größte wiederum OMNIFIL mit -1,16 %.

Innerhalb der Versuchsreihe B machte sich bei 7 Zementen ein Gewichtsverlust, bei 3 Zementen eine Gewichtszunahme bemerkbar.

Tabelle 2

Gegenüberstellung der Gewichtsänderungen

Gewichte in
in ruhender und in bewegter NaCl-Lösung R= ruhende Lösung
B= bewegte Lösung

	R	Ausgangsgewicht	B	R	24 Std	B	R	3 Tg	B	R	8 Tg	B	R	17 Tg	B	R	Insang Gew. %
I	0,9719	0,9955	0,9752	0,9953	0,9728	0,9931	0,9707	0,9914	0,9689	0,9901	0,9654	0,9882	0,9882	0,9882	0,9882	0,9882	0,9882
II	0,9516	0,9870	0,9623	0,9866	0,9639	0,9846	0,9647	0,9836	0,9624	0,9822	0,9609	0,9809	0,9796	0,9783	0,9770	0,9757	0,9744
III	0,9658	0,9678	0,9698	0,9671	0,9703	0,9651	0,9690	0,9632	0,9677	0,9571	0,9511	0,9451	0,9391	0,9331	0,9271	0,9211	0,9151
IV	0,9364	1,0317	0,9403	1,0311	0,9397	1,0305	0,9392	1,0288	0,9384	1,0277	0,9267	1,0257	0,9247	0,9237	0,9227	0,9217	0,9207
V	0,9382	0,9888	0,9405	0,9879	0,9402	0,9862	0,9396	0,9841	0,9831	0,9820	0,9809	0,9798	0,9787	0,9776	0,9765	0,9754	0,9743
VI	0,9588	1,0358	0,9643	1,0350	0,9635	1,0333	0,9611	1,0314	0,9589	1,0285	0,9570	0,9559	0,9548	0,9537	0,9526	0,9515	0,9504
VII	0,9905	1,0749	1,0098	1,0737	1,0212	1,0704	1,0207	1,0664	1,0177	1,0624	1,0146	1,0135	1,0124	1,0113	1,0102	1,0091	1,0080
VIII	0,9905	0,9484	0,9933	0,9539	0,9946	0,9534	0,9955	0,9530	0,9927	0,9522	0,9511	0,9500	0,9489	0,9478	0,9467	0,9456	0,9445
IX	0,9683	0,9413	0,9721	0,9442	0,9706	0,9446	0,9712	0,9439	0,9692	0,9431	0,9420	0,9409	0,9398	0,9387	0,9376	0,9365	0,9354
X	0,9329	0,9641	0,9347	0,9663	0,9344	0,9666	0,9314	0,9660	0,9285	0,9274	0,9263	0,9252	0,9241	0,9230	0,9219	0,9208	0,9197
XI	0,7415	0,7855	0,7426	0,7858	0,7439	0,7861	0,7454	0,7860	0,7472	0,7881	0,7480	0,7489	0,7498	0,7507	0,7516	0,7525	0,7534

Innerhalb der Versuchsreihe 2) können zwei Arten von Fehlerquellen auftreten: einmal ist die Stellung der Prüfkörper in der Durchflußzelle von Bedeutung. Um ein Mehrumströmen des einen Probekörpers zu vermeiden, müssen die Stellungen der Proben häufig verändert werden. Die andere Fehlerquelle liegt darin, daß Gewichtsverfälschungen durch Bewuchs der Proben auftreten können. (Abb. 28).



Abb. 28

Dies geschah nach ca. 10 Tagen, und zwar wurden bei mikroskopischer Überprüfung Hefezellen und Sprossenpilze festgestellt, die durch UV-Bestrahlung inaktiviert werden konnten. Die Proben wurden im Abstand von 20 cm vom Brenner für die Dauer von 8 Minuten bestrahlt, wobei ihre Stellung nach jeweils 2 Minuten verändert wurde.

Die Abschnitte dieses Kapitels zeigen, kurz zusammengefaßt, folgende Ergebnisse:

OMNIFIL hat, bei Zimmertemperatur angerührt, mit $10\text{ }\mu$ die geringste Spaltbildung, dann folgen FASER-PLEVETH mit $31\text{ }\mu$, S.-S.-WHITE mit $39\text{ }\mu$ und SUPER-MAMORITH mit $39\text{ }\mu$. Die größten Spaltbildungen wiesen B S 58 mit $100\text{ }\mu$ und FASER-PLEVETH mit $176\text{ }\mu$ auf.

Die "Lineare Änderung" brachte die Feststellung, daß sich alle Zemente kontrahierten, mit Ausnahme des OMNIFIL, das expandierte. Diese Tatsache unterstützt das bei der Versuchsreihe "Gewichtsänderung" erhaltene Resultat, nach dem OMNIFIL in ruhender Lösung um 2,74 % seines Gewichts zunimmt, was weit über der Gewichtsänderung der anderen Zemente steht.

3. Härte

"Härte ist der Widerstand eines Körpers gegen Eindringen eines anderen Körpers und wird oft in der Dimension einer mechanischen Spannung in kg / mm^2 angegeben, die zu einer bestimmten Deformation führt." (Kunststoff-Lexikon S. 119). "Die Bestimmung ihrer Größe ist von der Art des Prüfverfahrens stark abhängig." (H. FRANKE).

Zur Härteprüfung stehen die verschiedensten Verfahren zur Verfügung. Welches von ihnen zu bevorzugen ist, hängt nicht zuletzt von der Beschaffenheit des zu untersuchenden Materials ab. Allgemein wird in der Technik mit einem Eindringkörper in dem Prüfstück ein bleibender Eindruck erzielt, wobei Voraussetzung ist, daß der Eindringkörper bedeutend härter ist als das Prüfstück. (H. FRANKE). Diese Eindringkörper gibt es in den verschiedensten Formen.

Man teilt die Härteprüfverfahren in zwei Gruppen ein:

- a) die statischen,
- b) die dynamischen Methoden.

Zu den statischen Verfahren gehören:

1. das Kugeldruckverfahren nach BRINELL, wobei der Eindringkörper eine gehärtete Stahlkugel ist, die mit Hilfe einer ruhenden Druckkraft in den Prüfkörper eingedrückt wird. Die BRINELL-Härte kann durch eine Formel aus dem Durchmesser des Eindrucks in kp / mm^2 berechnet werden. Ein weiteres Kugeldruckverfahren ist das nach MEYER, das sich aus der Kalottenoberfläche berechnen läßt. Die MEYER-Härte ist größer als die BRINELL-Härte.

2. das Pyramidenhärtemeßverfahren nach VICKERS; hierbei besteht der Eindringkörper aus einer regelmäßigen vierseitigen Pyramide mit einem Flächenöffnungswinkel von 136° , die, von oben gesehen, einen quadratischen Eindruck hervorruft. Die VICKERS-Härte wird ebenfalls in kp / mm^2 angegeben und läßt sich mit Hilfe der mittleren Länge der

Diagonalen aus der Eindruckoberfläche berechnen.

KNOOP benutzte für Härtemessungen eine abgewandelte VICKERS-Pyramide, bei der er als Grundfläche ein Rhomboeder verwandte.

3. das Vorlastverfahren nach ROCKWELL, bei dem der Eindringkörper ein abgerundeter Diamantkegel von 120° Kegelwinkel ist. Auf diesen Kegel wird eine Vorlast aufgebracht, sobald er die Oberfläche des Prüfkörpers berührt, außerdem noch eine Zusatzlast eingeschaltet, die aber nach beendetem Fließen des Materials wieder abgehoben wird. Die bleibende Eindringtiefe wird mit einer Meßuhr gemessen.

4. das Ritzhärteverfahren, für das MOHS eine 10 Härtegrade umfassende Skala aufgestellt hat und das hauptsächlich in der Mineralogie Verwendung findet. Zur Ritzhärtemessung von Metallen wird ein kegelförmiger Diamant von 90° oder 120° Kegelwinkel verwendet, wobei bei einer bestimmten Belastung die Ritzbreite ausgemessen wird. Da diese Methode durch Ungenauigkeiten beim Ablesen sehr unzulänglich ist, wird sie heute kaum noch verwendet.

Zu den dynamischen Verfahren, bei denen der Eindringkörper mit einer kinetischen Energie auf den Prüfkörper auftrifft, gehören

1. das Fall-Härteverfahren, das als Eindringkörper eine Kugel benutzt. Der Härteberechnung liegt der entstandene Eindruck zugrunde, wobei die Fallhöhe mit einbezogen wird.
2. das Schlaghärteverfahren, bei dem die Prüfkugel mit Hilfe eines Hammerschlages oder einer Feder in das zu untersuchende Material getrieben wird. Der Berechnung liegt ebenfalls der entstandene Eindruck zugrunde.
3. das Rücksprunghärteverfahren (SHORE-Härte). Hierbei findet der durch einen fallenden Hammer hervorgerufene Eindruck keine Beachtung, nur die Höhe des Rücksprunges dieses Hammers,

Da bekanntlich die Silikatzemente sehr spröde sind, galt es, zu ihrer Härtemessung ein Verfahren anzuwenden, das diesem Umstand Rechnung trug. Der Eindruck einer Kugel erschien weniger gefährlich für eine Zementprobe als spitze Prüfgeräte. Daher wurde das BRINELL-Härteverfahren angewendet.

In vorangegangenen Versuchen mit dem FRANK'schen Kunststoffhärteprüfer Nr. 565 wurde festgestellt, daß bei entsprechend vorsichtiger Handhabung mit diesem Gerät zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen sein würden. (Abb. 29).



Abb. 29

Als Eindringkörper wurde eine Stahlkugel von 2,5 mm Durchmesser benutzt, die mit einer Belastung von 5 kg, anschließend auch mit 10 kg, bei einer Belastungszeit von 60 Sekunden in den Prüfkörper eindrang. Die Eindringtiefe war an einer Meßuhr in 1/100 mm abzulesen. Die Belastung der Zementprobe durch die Stahlkugel wird durch Umlegen einer Kurbel ausgelöst. An ihrer Handhabung lag

es, ob die spröden Zementkörper zersprangen oder dem Druck standhielten. Das Umlegen der Kurbel mußte zügig, nicht aber ruckartig geschehen. Bei 10 kg Belastung hielten trotzdem nicht alle Prüfkörper der Belastung stand.

Die Härtewerte konnten in Auswertetafeln direkt abgelesen oder, da diese nicht weit genug reichten, nach der Formel

$$H = \frac{P \cdot 10000}{D \cdot \pi \cdot h}$$

ausgerechnet werden,

wobei H = Härte in kg / cm^2 ,
 P = Kugelbelastung in kg ,
 D = Durchmesser der Prüfkugel in mm ,
 h = Eindringtiefe der Prüfkugel in $0,01 \text{ mm}$,
 π = Konstante 3,1416

bedeutet.

Die Auswertetafeln DIN 57302 beruhen auf dieser Formel. Die gefundenen Werte sind den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen. Jeder Wert ist das arithmetische Mittel aus sechs Einzelversuchen. Die eingeklammerten Werte bedeuten, daß nur ein Probekörper der Belastung standhielt und einen ablesbaren Wert ergab.

Die Proben waren bis zu ihrer Untersuchung in der feuchten Kammer aufbewahrt worden.

Die Härte von Silikatzementen schwankt laut Tabelle 3 nach 1 Stunde Abbindezeit zwischen $50,1 \text{ kg} / \text{cm}^2$ (OMNI-FIL) und $119,8 \text{ kg} / \text{cm}^2$ (SUPER-SYNTREX). Diese Spanne ist außerordentlich groß. Der Durchschnitt beträgt $85,7 \text{ kg} / \text{cm}^2$. Auch nach 3 Stunden Erhärtungszeit ist der Unterschied noch recht erheblich. Doch mit zunehmender Erhärtung wird das Bild etwas einheitlicher. Die größte Härte liegt bei den meisten Zementen bei einer Erhärtungszeit von 2 Wochen.

Tabelle 4 kann, obwohl sie etwas lückenhaft ist, im wesentlichen als Bestätigung der Tabelle 3 gewertet werden.

Tabelle 3

Härteerte der Silikatsemente

Werte in kg/cm²

Alter der Proben:

Kugeldurchmesser: 2,5 mm

Belastung : 5 kg

Belastungszeit : 60 sek.

	1 Std.	3 Std.	24 Std.	48 Std.	1 Wch.	2 Wch.	1 Mon.	3 Mon.
I	115,8	135,0	161,5	189,8	210,5	212,3	181,8	170,7
II	86,2	95,5	118,6	160,7	165,2	167,8	177,0	184,0
III	60,7	128,3	151,0	166,2	193,0	202,5	184,4	156,3
IV	75,8	132,3	160,5	162,3	177,0	195,0	176,2	143,3
V	73,4	118,8	140,2	162,2	177,8	200,8	179,3	183,3
VI	71,2	116,3	143,8	159,5	190,0	191,2	174,3	166,7
VII	50,1	70,7	102,7	130,2	159,7	171,7	190,5	194,8
VIII	115,3	149,7	160,0	169,0	172,0	186,0	173,3	202,7
IX	90,4	126,1	166,7	181,3	195,8	202,3	157,7	198,8
X	119,8	142,8	165,0	178,5	189,2	204,1	171,7	182,1

Nach einer Alterung von 2 Wochen hatten die Proben bei 5 kg Belastung um folgende Werte zugenommen:

I	SYNTREX	:	96,5 kg/cm ²	=	83 %
II	MAMORITH	:	81,6 "	=	93 %
III	FASER-PLEVETH	:	141,8 "	=	233 %
IV	PLEVETH	:	119,2 "	=	157 %
V	SUPER-MAMORITH	:	127,4 "	=	173 %

VI	ULTRA-SILIKAT	:	120,0	kg/cm ²	=	168	%
VII	OMNIFIL	:	121,6	"	=	243	%
VIII	S.-S.-WHITE	:	70,7	"	=	61	%
IX	B S 58	:	111,9	"	=	123	%
X	SUPER-SYNTREX	:	84,3	"	=	70	%

Tabelle 4

Härteerte der Silikatsemente

Werte in kg/cm²

Alter der Proben:

Kugeldurchmesser: 2,5 mm
Belastung : 10 kg
Belastungszeit : 60 sek.

	1Std.	3Std.	24Std.	48Std.	1Wch.	2Wch.	1Mon.	3Mon.
I	187,0	221,2	273,0	242,0	297,3	293,8	268,8	311,1
II	142,2	—	—	—	—	284,5	(296,0)	291,8
III	99,7	187,5	247,0	263,0	276,2	290,3	281,0	247,3
IV	137,8	214,3	239,2	247,5	260,7	269,0	245,0	250,0
V	147,0	195,5	226,0	230,7	296,8	287,5	(261,8)	283,5
VI	(125,0)	—	—	—	—	252,5	251,8	268,0
VII	—	114,5	—	—	192,0	227,3	262,8	255,0
VIII	191,5	220,5	252,5	253,3	260,0	283,5	291,0	312,0
IX	136,5	201,5	253,3	256,0	275,0	277,3	264,0	(245,0)
X	—	—	245,7	268,5	289,0	300,0	294,5	292,3
XI	85,5	97,3	100,7	104,2	116,0	119,3	96,5	89,7

4. Kantenfestigkeit

Als Festigkeit bezeichnet man den Widerstand eines festen Körpers, den er der Formänderung durch Beanspruchung irgendeiner Art entgegensetzt. Diese Beanspruchung erfolgt durch innere oder äußere Kräfte und muß, wenn sie eine Formänderung hervorrufen will, den Widerstand des Körpers überwinden. Je nach Art der Beanspruchung auf Zug, Druck, Schlag, Verdrehung, Biegung etc. spricht man von Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Schlagfestigkeit, Verdrehungs- oder Torsionsfestigkeit, Biegefestigkeit etc.

Die Schlagfestigkeit - in der Zahnheilkunde auch als Kantenfestigkeit bezeichnet, weil die Kanten einer Füllung am meisten beansprucht und somit am meisten gefährdet sind - ist für ein Füllungsmaterial in großem Maße mitbestimmend für seine Indikationsbreite. Die Kantenfestigkeit der Silikatzemente ist, wie schon in vielen Versuchen festgestellt worden ist, sehr gering und reicht für Füllungen mit Ecken- oder Schneidekantenersatz nicht aus, wie die klinische Erfahrung zeigt.

Durch Zusätze ins Zement, z.B. Fasern ins FASER-PLEVETH, Stahlspäne in den DRALA-STÄHLZEMENT, Diamantstaub ins DIASILIC, ist es gelungen, die Kantenfestigkeit, beim DIASILIC außerdem die Transparenz, beträchtlich zu erhöhen, und soll, wie die Hersteller angeben, für Füllungen an exponierten Stellen groß genug sein. Es werden, wie sich leider herausstellte, mit diesen Vorteilen auch Nachteile erkaufte. Beispielsweise machte sich beim DRALA-STÄHLZEMENT, der auf Grund seiner betonähnlichen Struktur eine große Härte aufweist, im Munde mancher Patienten eine starke Löslichkeit bemerkbar.

"Die Schlagfestigkeit gestattet Voraussagen über das Verhalten eines Stoffes bei stoßartiger Beanspruchung. Sie wird im DYNSTAT oder Pendelschlagwerk als diejenige

Arbeit ermittelt, die zum Zerschlagen der Probe notwendig ist, bezogen auf den Probenquerschnitt." (Kunststoff-Lexikon, S. 253).

Die Untersuchungen auf Kantenfestigkeit wurden am DYN-STAT-Gerät, Bauart MPA Berlin-Dahlem, Typ 330 - 02 Ger. Nr. Firma Karl FRANK GmbH., durchgeführt.

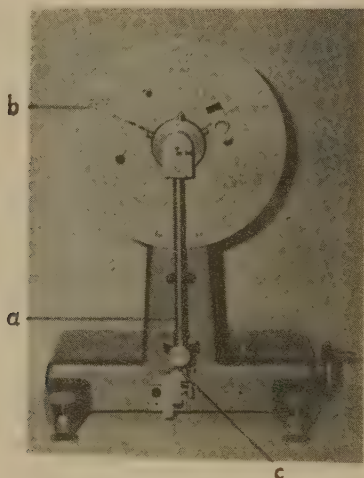


Abb. 30

Dieser DYNSTAT besteht in der Hauptsache aus einem Pendel (a), der zusammen mit einem Schleppzeiger (b) an einer Skala befestigt ist, und einem Probenhalter (c). Zur Durchführung des Versuches wird die Probe in der Halterung (c) befestigt, das vorher eingeklinkte Schlagpendel ausgelöst und dadurch die Probe zerbrochen. Da diese dem Pendel bis zum Zerschlagen einen Widerstand entgegensetzt, gelangen das Pendel und der mitgeschleppte Zeiger nicht mehr bis zum vorher austarierten Nullpunkt, sondern bleiben vorher stehen, wobei der Zeiger auf der Skala die verbrauchte Schlagarbeit in kg cm angibt. Da zur Berechnung der tatsächlichen Schlagarbeit der Querschnitt der Proben von ausschlaggebender Bedeutung

ist, wurde von jeder Probe vor ihrer Untersuchung mit Hilfe einer Mikrometerschraube die Breite und Dicke festgestellt, da diese Daten in die Berechnungsformel eingehen.

Sie lautet:

$$S n = \frac{s}{b} \cdot \frac{n}{d}$$

wobei bedeutet:

$S n$ = tatsächliche Schlagarbeit

$s n$ = verbrauchte Schlagarbeit

b = Breite)

d = Dicke) der Probe

Die aus den Versuchen errechneten Werte sind nachfolgender Tabelle 5 zu entnehmen. Jeder Wert ist das arithmetische Mittel aus sechs Einzelmessungen. Die eingeklammerten Werte bedeuten, daß von sechs Versuchskörpern nur einer einen ablesbaren Wert ergab. Die Proben waren bis zu ihrer Untersuchung in der feuchten Kammer aufbewahrt worden.

Die Kantenfestigkeit der Silikatzemente ist, besonders nach 1 und 3 Stunden Erhärtungszeit, sehr unterschiedlich. Nr. IX hat z.B. nach einer Erhärtungszeit von 1 Stunde eine so geringe Widerstandskraft, daß das Schlagpendel nach Zerschlagen der Proben stets bis zur Nullstellung durchschwang. Auch die Kantenfestigkeit von Nr. V und VI liegen anfangs stark unter dem Durchschnitt. Nr. III zeigt auf Grund seiner Faserbeimengung ins Pulver die beste Kantenfestigkeit mit ziemlich stabilen Werten.

Allgemein kann gesagt werden, daß mit ansteigender Erhärtung der Proben die Werte stabiler und untereinander einheitlicher werden. Die größte Kantenfestigkeit liegt bei den meisten Zementen bei einer Alterungszeit von 2 Wochen bis 1 Monat.

Tabelle 5
Kantenfestigkeit der Silikatzemente
Werte in kgcm/cm²

Alter der Proben:

	1 Std.	3 Std.	24 Std.	48 Std.	1 Wch.	2 Wch.	1 Mon.	3 Mon.
I	0,50	0,55	0,83	0,89	0,91	0,94	0,78	0,97
II	0,45	0,47	0,80	0,82	0,87	0,93	0,80	0,72
III	1,70	1,64	1,82	1,80	1,83	1,80	1,60	1,68
IV	0,28	0,31	0,77	0,78	0,81	0,96	0,80	0,76
V	0,11	(0,13)	0,79	0,87	0,89	0,90	0,98	0,82
VI	0,03	0,20	0,87	0,87	0,90	0,90	1,20	0,96
VII	0,61	0,81	0,88	0,91	1,00	1,04	1,02	0,84
VIII	0,37	0,65	0,81	0,91	0,92	1,10	1,16	0,98
IX	0,00	(0,35)	0,78	0,83	0,85	0,98	0,71	0,72
X	(0,63)	0,70	0,85	0,90	0,92	1,08	1,18	1,00
XI	2,61	2,79	3,21	3,38	3,48	3,44	4,83	2,62

Demnach erhöht sich nach 2 Wochen bzw. 3 Monaten die Kantenfestigkeit um:

I	SYNTREX	: 0,44 kgcm/cm ²	0,47 kgcm/cm ²
II	MAMORITH	: 0,48 "	0,27 "
III	FASER-PLEVETH	: 0,10 "	-
IV	PLEVETH	: 0,68 "	0,48 "
V	SUPER-MAMORITH	: 0,79 "	0,71 "
VI	ULTRA-SILIKAT	: 0,87 "	0,93 "
VII	OMNIFIL	: 0,43 "	0,23 "
VIII	S.-S.-WHITE	: 0,43 "	0,61 "
IX	B S 58	: 0,98 "	0,72 "
X	SUPER-SYNTREX	: 0,45 "	0,37 "

5. Abriebfestigkeit (Abrasion)

Abrasion ist der durch Artikulationsbewegung oder durch mechanische Abnutzung hervorgerufene Substanzverlust der Hartgewebe der Zähne.

Füllungen, die verlorengegangene Zahnschubstanz ersetzen, unterliegen den gleichen Anforderungen wie die Zahnhartgewebe. Das Silikatcement, das auf Grund seiner geringen Kantenfestigkeit nur für Frontzahnfüllungen ohne Eckenaufbauten verwendet wird, unterliegt der Abrasion beim Kauakt nur in geringem Maße. Für sein Indikationsgebiet ist die Abriebfestigkeit ausreichend.

Die Untersuchungen der Abrasion wurden an einem Gerät der Firma ZWICK & Co., Modell Z 220 Nr. 7314 nach DIN 53516 ⁺⁾ durchgeführt. Es besteht aus einer drehbar gelagerten Walze von 15 cm Durchmesser, auf die Schmirgelbogen aufgespannt werden. Die Walze wird von einem Elektromotor angetrieben und macht im Schnellgang 100 Umdrehungen, für die sie ca. 2 3/4 Minuten braucht. Dabei wird ein Schleifweg von 40 m zurückgelegt. Die Probe ist in einem mit Drehkopf versehenen und auf einer Schiene sich vorwärtsbewegenden Halter befestigt, der mit einer Kraft von 1 kg auf die Schmirgelfläche drückt. Der Drehkopf arbeitet mit 15 Umdrehungen / Minute. Der Schleifvorgang ist nicht kontinuierlich, denn nach jeder Umdrehung der Walze wird der die Probe haltende Drehkopf ab- und über die Befestigungsschne für den Schmirgelbogen hinweggehoben, um dann wieder aufzusetzen. Die Angriffsschärfe der Schmirgelbogen war in vorausgegangenen Tests ermittelt worden.

Dazu wurden 2 - 3 Proben aus Testgummi verwendet, die jeweils vor und nach jedem Test gewogen wurden. Der Mittelwert ihrer Gewichtsverluste ergab die Angriffsschärfe

⁺⁾ Der BUNDESANSTALT FÜR MATERIALPRÜFUNG (Dir. Prof. Dr. PFENDER) wird für die Möglichkeit der Benutzung dieses Gerätes gedankt.

des Bogens. Sie mußte 236 ± 20 betragen. Um den Gewichtsverlust jeder Porbe festzustellen, wurde sie vor und nach jedem Versuch auf 1/10 mg gewogen. Die Berechnung des Abriebs erfolgt mit Hilfe einer Formel, zu deren Benutzung die Kenntnis vom spezifischen Gewicht des Silikatzementes erforderlich ist. Es wurde durch Wiegen der Proben in Luft und Wasser festgestellt und beträgt 2,15.

Die Formel lautet:

$$\frac{V \cdot 236}{d \cdot A} = \text{Abrieb in cm}^3$$

- V = Gewichtsverlust der Probe in g
236 = ermittelte Angriffsschärfe der Bogen
d = spezifisches Gewicht des Silikates
A = Angriffsschärfe des verwendeten Bogens.

Die errechneten Werte sind aus Tabelle 6 zu ersehen. Jeder Wert ist das arithmetische Mittel aus drei Einzelwerten.

Ausgeführt wurden die Versuche im Klimaraum der BUNDESANSTALT FÜR MATERIALPRÜFUNG bei 20 °C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit. Die Proben waren bis zu ihrer Untersuchung in der feuchten Kammer aufbewahrt worden.

Bei den Messungen der Abrasion traten weniger Streuungen auf als bei den Härte- und besonders bei den Kantenfestigkeitsmessungen, daher sind die Werte insgesamt einheitlicher. Nach einer Alterung von 1 Stunde betrug der geringste Abrieb der Zemente $0,651 \text{ cm}^3$ (Nr. X), der höchste $0,797 \text{ cm}^3$ (Nr. VI); es besteht also eine Spanne von $0,146 \text{ cm}^3$. Mit zunehmender Alterung verringert sie sich und beträgt nach 3 Monaten nur noch $0,093 \text{ cm}^3$. Der geringste Abrieb zeigte sich bei den Zementen I - V, VIII, IX und X nach einer Erhärtungszeit von 1 Monat, bei VI und VII nach 3 Monaten.

Tabelle 6
Abrasion von Silikatzementen
Werte in cm^3
Alter der Proben:

	1Std.	4Std.	24Std.	1Wch.	1Mon.	3Mon.
I	0,691	0,636	0,511	0,478	0,377	0,396
II	0,755	0,622	0,584	0,512	0,386	0,396
III	0,681	0,559	0,465	0,426	0,350	0,400
IV	0,663	0,554	0,471	0,370	0,356	0,364
V	0,748	0,512	0,500	0,412	0,382	0,404
VI	0,797	0,627	0,557	0,496	0,444	0,441
VII	0,745	0,588	0,490	0,456	0,370	0,363
VIII	0,680	0,569	0,506	0,428	0,382	0,411
IX	0,730	0,600	0,474	0,468	0,369	0,426
X	0,651	0,551	0,464	0,453	0,393	0,456
XI	0,451	0,404	0,371	0,366	0,333	^{5Mon.} 0,435

Tabelle 6 zufolge verringert sich der Abrieb nach 1 Monat Alterung um:

I	SYNTREX	:	0,314 cm^3	=	45,4 %
II	MAMORITH	:	0,369 "	=	48,9 %
III	FASER-PLEVETH	:	0,331 "	=	48,6 %
IV	PLEVETH	:	0,307 "	=	46,3 %
V	SUPER-MAMORITH	:	0,366 "	=	48,9 %
VI	ULTRA-SILIKAT	:	0,393 "	=	44,3 %
VII	OMNIFIL	:	0,375 "	=	50,3 %
VIII	S.-S.-WHITE	:	0,292 "	=	42,9 %
IX	B S 58	:	0,361 "	=	49,5 %
X	SUPER-SYNTREX	:	0,258 "	=	39,6 %

6. Opazität

Das Verhältnis der durch ein absorbierendes Mittel hindurchgehenden Intensität I des Lichtes zu der einfallenden Intensität I_0 nennt man Durchlässigkeit oder Transparenz. Der Kehrwert davon, I_0 / I , ist die Opazität. Es handelt sich hierbei um Lichtabsorptionsmessungen, die ursprünglich am ELREPHO, einem lichtelektrischen Remissionsphotometer der Firma ZEISS, vorgenommen werden sollten.

Dieses Gerät dient dazu, den Remissionsgrad diffus reflektierender Stoffe in einzelnen durch Lichtfilter ausgesonderten Bereichen des sichtbaren Spektralgebietes zu messen. Die hohe Meßgenauigkeit dieses Gerätes, das die Unterscheidungsempfindlichkeit des Auges für fast gleichartige Proben weit übertrifft, beruht hauptsächlich darauf, daß es mit Photozellen arbeitet. Mit dem ELREPHO können nur völlig trockene Proben gemessen werden. Es stellte sich heraus, daß er für die vorgesehenen Versuche nicht zu verwenden war, da die Versuchskörper infolge des Aufbewahrens in einer feuchten Kammer für die Dauer ihrer Alterung von zwei Wochen ständig Feuchtigkeit abgaben. Aus diesem Grunde zeigte der ELREPHO laufende Werte an.

Die Messung der Transparenz an trockenem Silikatzement ist wertlos, da man auf Grund seines kreidigen Aussehens im Vergleich zu feucht gehaltenem Silikatzement andere Helligkeitswerte erhalten würde.

So mußten die Messungen am PULFRICH-Photometer vorgenommen werden. Der PULFRICH-Photometer dient zur visuellen Bestimmung der Lichtdurchlässigkeit. Er hat gegenüber dem ELREPHO den Nachteil, daß seine Meßgenauigkeit vom Unterscheidungsvermögen des Auges abhängt. Ein Vorteil bei der Verwendung dieses Gerätes lag jedoch darin, daß sich die Proben während der Mes-

sung in einer mit Wasser gefüllten Küvette befanden. Es herrschten demnach günstige, mundähnlichere Verhältnisse. Gemessen wurde mit einem Rotfilter, da dieser die Farbunterschiede am deutlichsten sichtbar machte. Die an der Meßtrommel ablesbare Zahl ergab das Hundertfache des Transmissionsgrades (Durchlässigkeitsgrades) der Probe.

Die Werte sind der Tabelle 7 zu entnehmen. Jeder Meßwert ist das arithmetische Mittel aus neun Einzelmessungen. Spalte 3 gibt die Lichtdurchlässigkeit in Prozent an.

Die größte Transparenz unter den 10 Silikatzementen hat Nr. IX mit einem Transmissionsgrad von 0,215, der einer Lichtdurchlässigkeit von 21,5 % entspricht. Es folgen Nr. V mit $0,212 = 21,2 \%$, Nr. II mit $0,210 = 21,0 \%$ und Nr. X mit $0,200 = 20,0 \%$. Die geringste Transparenz besitzt Nr. VII mit einem Transmissionsgrad von $0,137 = 13,7 \%$ Lichtdurchlässigkeit.

Tabelle 7
Transmissionsgrade
der Silikatzemente

Nr.	Tmg.	%
I	0,185	18,5
II	0,210	21,0
III	0,185	18,5
IV	0,187	18,7
V	0,212	21,2
VI	0,165	16,5
VII	0,137	13,7
VIII	0,180	18,0
IX	0,215	21,5
X	0,200	20,0
XI	0,265	26,5

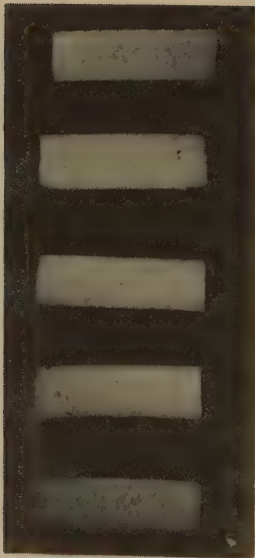
7. FarbadSORPTION

Um festzustellen, ob die untersuchten Zementproben Unterschiede in ihrer Adhäsion gegenüber gelösten Farbstoffen haben, wurden Versuche mit Methylenblaulösung angesetzt.

Von jedem Fabrikat wurde ein Probekörper, der zuvor 4 Wochen in physiologischer Na Cl-Lösung gelegen hatte, für 10 Tage bei einer Temperatur von 20 °C in eine 1 %ige Methylenblaulösung gelegt. Das Ergebnis war, daß die Oberfläche sämtlicher Versuchskörper starke FarbadSORPTION zeigte. Die Ausmessung aller Proben zeigte nicht nur oberflächliche Adsorption, sondern unterschiedliche Eindringtiefen.

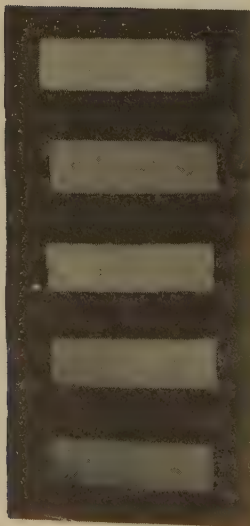
Die Messungen der Eindringtiefen an den Probekörpern erfolgten nach Schliff eines Querschnittes auf Mattglas mit Paraffinöl. Gemessen wurde im Okularmikrometer des Auflichtmikroskops bei Schrägbeleuchtung. Von jeder Probe wurden 10 Meßwerte in $\frac{n}{100}$ mm genommen, von denen jeweils der Mittelwert gebildet wurde.

Auf Abb. 31 sind die Proben I - V, auf Abb. 32 die Proben VI - X zu sehen. Die Eindringtiefen betrugen:



I : 0,06 mm
II : 0,015 "
III: 0,10 "
IV : 0,115 "
V : 0,04 "

Abb. 31



VI : 0,012 mm
VII : 0,04 "
VIII: 0,065 "
IX : 0,08 "
X : 0,12 "

Die Abb. 31 und 32
sind im Abb.-Maßstab 1:3
wiedergegeben.

Abb. 32

Außer dem flächenmäßigen Eindringen des Farbstoffes war bei einzelnen Proben auch ein kapilläres umschriebenes Vordringen zu sehen (Rißbildung).

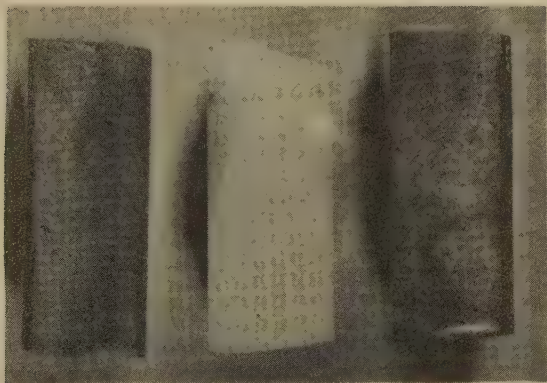


Abb. 33

Die Abb. 33 zeigt 3 p-CADURIT-Probekörper im Abb.-Maßstab 13 : 1, die einen unterschiedlichen Werdegang aufweisen. Der mittlere wurde, entsprechend den Zementprobekörpern, nach der Herstellung vier Wochen in neutraler 0,9 %iger Na Cl-Lösung aufbewahrt, die anderen hingegen in angesäuerter bzw. leicht alkalisch gehaltener Kochsalzlösung. Die Unterschiede nach dem durchlaufenen Farbbad sind augenfällig: der mittlere, neutral gehaltene CADURIT-Probekörper zeigt so gut wie keine Spuren von FarbadSORPTION, die beiden anderen Proben hingegen sind oberflächlich stark verfärbt, weil ihre Oberflächen auf Grund des Aufenthaltes im veränderten Milieu angeraut worden waren im Gegensatz zu der aus neutraler Lösung stammenden Probe, deren Oberfläche spiegelnd glatt blieb. Bei der in basischer Lösung aufbewahrten Probe war die FarbadSORPTION etwas stärker als bei der in angesäuerten Lösung aufbewahrten. Daraus resultiert, daß chemische Einwirkungen auf p-CADURIT das Adsorptionsverhältnis in starkem Maß variieren.

Diskussion der Ergebnisse

Die in den Kapiteln 1 - 7 beschriebenen Versuchsreihen dienten der vergleichenden Untersuchung von 10 verschiedenen, zur Zeit im Handel befindlichen Silikatzementen auf ihre wichtigsten Eigenschaften hin. Die Ergebnisse sollen hier kurz diskutiert werden.

Ein Umstand, der leicht zur Verfälschung der Ergebnisse führen kann, tritt schon bei Herstellung der Prüfkörper auf, nämlich der, daß jede Probe einzeln von Hand hergestellt werden muß und nicht, wie es in der Industrie möglich ist, serienmäßig aus fertigem Material herausgestanzt werden kann. Schon geringste Unterschiede beim Anmischen von Pulver und Flüssigkeit oder beim Stopfen der plastischen Masse in die Form, unterschiedlicher Druck während der Erhärtung, verschiedenartige Behandlung während der Alterung der Proben etc. können zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Schon aus diesen Gründen können die in dieser Arbeit aufgezeigten Resultate nur Vergleichszwecken dienen, nicht aber als Absolutzahlen gewertet werden.

Die Aufbewahrung der Proben in physiologischer Kochsalzlösung war aus folgenden Gründen unterlassen worden: 1. Es sollte eine Versuchsreihe über Verhaltensänderung von Silikatzementen bei Aufenthalt in Na Cl durchgeführt werden. Zu dieser Versuchsreihe ist zu sagen, daß alle sich daraus ergebenden Gewichtsänderungen im Munde über einen viel größeren Zeitraum erstrecken wurden, weil ja eine Füllung im Mund niemals so von Flüssigkeit umspült ist wie beim Schälchen- oder Durchflußversuch. 2. Für die Aufbewahrung der Proben in Na Cl-Lösung ist kein Grund einzusehen, denn wegen ihres Isotonieunterschiedes (in Kochsalzlösung überwiegt Na, im Speichel aber K) ist sie wenig speichelähnlich. 0,9%ige Na Cl-Lösung ist serumisotonisch

und verhält sich dem Speichel gegenüber hypotonisch. Außerdem ist Speichel, elektrolytisch gesehen, eine gepufferte Lösung, Na Cl-Lösung aber nicht.

Eine trockene Aufbewahrung ist ganz ausgeschlossen, weil sie den Mundverhältnissen an wenigsten entspricht. Durch Wasserverlust werden die Kristallisationsvorgänge im Silikatzement ungünstig beeinflusst. Alle Meßwerte würden tiefer liegen.

Mit der Tabelle 8 ist der Versuch unternommen worden, nach einem Punktbewertungssystem, bei dem "1" die beste, "10" die schlechteste Bewertung ist, unter den 10 Zementen in bezug auf Güte und Maß der untersuchten Eigenschaften eine Reihenfolge aufzustellen. So überzeugend und einfach dieses System auch scheinen mag, hat es doch seine Schwächen und Lücken.

Z.B. hat Nr. X SUPER-SYNTREX, obwohl es nach der Punktbewertung an erster Stelle steht, in keiner Eigenschaft die Bewertung "1". Nr. IX B S 58 dagegen, obwohl es dreimal die "1" hat, liegt nur an zweiter Stelle, weil es in anderen Eigenschaften stark abfällt und somit eine höhere Punktzahl erhält. Vergleicht man SYNTREX (I) mit SUPER-SYNTREX (X) so ist offensichtlich, daß es der Herstellerfirma DE TREY gelungen ist, das alte SYNTREX in der Mehrzahl der Eigenschaften z. T. wesentlich zu verbessern, während allerdings bei zwei Eigenschaften eine geringe Verschlechterung aufgetreten ist. Auch ist SUPER-SYNTREX, was aus Tabelle 8 nicht zu ersehen ist, ein sehr spröder Zement, der leicht zur Ribbildung neigt. Beim Vergleich von MAMORITH (II) mit SUPER-MAMORITH (V) der Firma MAMOR-LABORATORIUM BERLIN ist die Verbesserung aller untersuchten Eigenschaften recht augenfällig, so daß SUPER-MAMORITH nach der Punktbewertung an dritter Stelle steht, MAMORITH erst an achter!

Nr. III FASER-PLEVETH, das nach Tabelle 8 den vierten Platz belegt, hat zwar die höchste Kantenfestigkeit und gute Abriebfestigkeit, zeigt aber mit 176 μ die weitaus

Tabelle 8

Zusammenstellung der Ergebnisse

1=höchste Bewertung		10=niedrigste Bewertung						
Abbildung	Härte	Kantenfest.	Abrasion	Opazität	Schmupfg. Quelle	Summe Bewertung		
Syntrex	6	1	5	8	6,5	7	33,5	6
Mammoth	4	9	7	9	3	8,5	40,5	8
Faser-Plexeth	5	5	1	2	6,5	8,5	28	4
Plexeth	2,5	6,5	9	1	5	6	30	5
Super-Mammoth	2,5	6,5	8	4,5	2	2	25,5	3
Ultra-Silikat	8	8	6	10	9	5	46	9
Omnifil	10	10	3	4,5	10	10	47,5	10
SSWhite	9	4	4	6	8	3,5	34,5	7
BS58	1	3	10	7	1	1	23	2
Super-Syntrex	7	2	2	3	4	3,5	21,5	1

größte Spaltbildung. Nr. VII OMNIFIL, das nur den zehnten Platz innehat, zeigt mit nur 10 μ die geringste Spaltbildung.

Auch Nr. VIII S.-S.-WHITE kommt mit Bewertung 7 recht schlecht weg, obwohl es auf Grund seiner Feinkörnigkeit hervorragend in der Verarbeitung ist und in bezug auf Härte, Kantenfestigkeit und Volumenbeständigkeit über dem Durchschnitt liegt.

Im Kapitel "Kantenfestigkeit" traten innerhalb der einzelnen Versuchsreihen unter den Meßwerten mitunter erhebliche Streuungen auf. Bei der Durchführung der Versuche fiel auf, daß die verbrauchte Schlagarbeit, die zum Bruch der Probe führte, geringer war, je glatter und geradliniger dieser vonstatten ging. Zeigte die Bruchstelle einen zackigen Verlauf, lag die verbrauchte Schlagarbeit wesentlich höher.

Die Versuchsreihen der "Abriebfestigkeit" wurden unter den am wenigsten mundähnlichen Verhältnissen durchgeführt. Da die Proben während des Abriebvorganges mit keinerlei Feuchtigkeit in Berührung kamen, war der Abrieb viel größer als er im Munde durch die Viskosität und den Eiweißgehalt des Speichels sein würde.

Die erhaltenen Werte sind also nur zu Vergleichszwecken im engsten Sinn zu werten.

Die Messungen der "Opazität" waren jeweils an den als "Hellgelb" bezeichneten Farbtönen der einzelnen Fabrikate vorgenommen worden. Die dennoch aufgetretenen Unterschiede in der Lichtdurchlässigkeit können z. T. damit erklärt werden, daß die Farbgebung bei den einzelnen Präparaten unterschiedlich ist.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Zemente

- I SYNTREX
- II MAMORITH
- III FASER-PLEVETH
- IV PLEVETH
- V SUPER-MAMORITH
- VI ULTRA-SILIKAT
- VII OMNIFIL
- VIII S.-S.-WHITE
- IX B S 58
- X SUPER-SYNTREX

und der Kunststoff

- XI p-CADURIT

auf die Eigenschaften

- 1. Abbindezeit
- 2. Schrumpfung - Quellung
- 3. Härte
- 4. Schlag- (Kanten-)festigkeit
- 5. Abriebfestigkeit (Abrasion)
- 6. Opazität
- 7. FarbadSORption

untersucht.

Dabei wurde festgestellt, daß

die Reaktionswärme bei einigen Zementen recht hoch liegt - die kritische Temperatur liegt bei 60 °C - (die Reaktionswärme von p-CADURIT liegt im Durchschnitt);

die Volumenkonstanz bei allen Zementen zu wünschen übrig läßt (auch die von p-CADURIT);

Härte und Kantenfestigkeit gering sind (mit Ausnahme von Nr. III, dessen Kantenfestigkeit etwa doppelt so groß ist wie die der übrigen Silikatzemente).

Die Härte von p-CADURIT liegt weit unter der der Silikatzemente, seine Kantenfestigkeit dagegen ist sehr gut, sie beträgt ca. 3 - 4 x die der Zemente;

die Werte der Abriebfestigkeit ziemlich hoch liegen, was wohl die Folge des trockenen Abriebs ist;

die Transparenz der Silikatzemente und des p-CADURIT zufriedenstellend sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß unter den 10 in dieser Arbeit untersuchten Silikatzementen keines ist, das den Anspruch erheben kann, das ideale Füllungsmaterial zu sein.

Literaturverzeichnis

1. ARNOLD, W.H.J.: Vergleichende Betrachtungen der gegenwärtigen zur Verfügung stehenden Füllungsmaterialien für den Frontzahnbereich. Ihre Indikationsstellung. DZZ 14, H. 11, 779, 1959.
2. BURRI, H.W.: Die Silikatfüllung am Zahnhals. Korr.Bl.Z. 59, H. 1,13, 1935.
3. COY, H.D.: Silicate cements and direct fillings resins: a comparative study. J.Americ.Dent.Ass.56, H. 6, 848, 1958.
4. DELFS, U.: Über das Volumenverhalten der Silikatzemente mit vergleichenden Untersuchungen, gemessen mit der Blasendruckmethode. Med. Diss. Berlin, 1954.
5. DIECK, W.: Über methodische Prüfungen der Silikatzemente. D.Mschr.Z. H. 8, 225 und H. 10, 289, 1922.
6. DIETERLE, H.: Überprüfung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften des Cadurit als Füllungswerkstoff. Med. Diss. Berlin, 1961.
7. DOLDER, E.: Physikalische Eigenschaften des Silikatzementes und schnellhärtenden Kunststoffes. DZZ 12, H. 1,1, 1957.
8. DOMIN, H.F.: Experimentelle und klinische Untersuchungen neuerer Silikatzemente. Med. Diss. Breslau, 1938.
9. EICHNER, K.: Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung. Berlinische V. 1960.
10. FISCHER, M.: Experimentelle Untersuchungen über die Abschlußdichtigkeit der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Füllungsmaterialien. Schweiz.Mschr.Z.59, H. 8, 1949.

11. FRANKE, H.: Lexikon der Physik. II. A., 1959, Bd. I. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.
12. FRANK, K., GmbH.: Frank-Merkblatt, Anweisung f. Handhabung und Erläuterungen zu den Auswertetafeln des Kunststoff-Härteprüfers Nr.565.
13. GERLACH, H.: Praktische Bemerkungen über das Silikat-Füllmittel. DZW 40, H. 4,75, 1937.
14. GEYER, C.F.: Über Silikatzemente. DZW Nr. 10,121, 1924.
15. GRUNEWALD, H.,
DICKSON, G.,
PAFFENBARGER, C.
und SCHOONOVER, C.: Silicate cement: method of mixing in a closed container to prevent effects of exposure to atmosphere. J. Americ.Dent.Ass. 46, H. 2, 184, 1953.
16. HARNDT, E.: Handbuch der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Bd. II. Vlg. Urban & Schwarzenberg, Berlin, 1955.
17. HARRIS, C.E.: Über die Ursache der Mißerfolge bei Silikatfüllungen. Dent.J.Austr.10, H. 11,671, 1938.
18. HATTEMER, W.N.: Physikalisch-chemische Eigenschaften der neueren Füllungs-materialien und Güte der Füllung. Z.Welt/Reform, 58, H.9,242, 1957.
19. HÄUPL, K.: Lehrbuch der Zahnheilkunde. II. A. 1953, Bd. I. Vlg. Urban & Schwarzenberg, Berlin.
20. HENNICKE, A.: Grundsätze bei der Untersuchung zahnärztlicher Werkstoffe vom Gesichtspunkt der Werkstofforschung und der Alltagspraxis aus; unter Berücksichtigung des Dimensionsverhaltens, besonders der Abform- und Modellmassen. Z. R. 8, 1960.

21. HEROLD, W.: Über das (richtige) Anrühren von Silikatzementen. D.Zahnärzteblatt 9, H. 6, 203, 1955.
22. HESZ, W.: Über die Abschlußdichtigkeit der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Füllungsmaterialien. DZZ 4, H. 8, 533, 1949.
23. JULEN, M.: Experimentelle Untersuchung von Silikatzementen. Med. Diss. Zürich, 1953.
24. KAUFMANN, D.: Wichtige mechanisch-physikalische Eigenschaften des Palavits im Vergleich zu anderen schnellhärtenden Kunststoffen und anderen Füllungsmaterialien. Med. Diss. Berlin, 1955.
25. KETTERL, W.: Die Silikatzementfüllung heute. Z.Pr. Nr. XII/14, S.157, 1961.
26. KLAUER, H.: Die Veränderung der Eigenschaften der zahnärztlichen Zemente durch die Korngröße. Z. R. 49, H. 9, 294, 1940.
27. KNAPPWOST, A.: Kapillare Spaltbildung unserer plastischen Füllungsmaterialien als Ursache der hohen Sekundärkariesfrequenz. DZZ H. 11, 602, 1951.
28. KÖRNER, A.: Die Transparenz verschiedener Silikatzemente. Med. Diss. Berlin, 1940.
29. MANLY, R.S.,
BAKER, C.F.,
MILLER, P.N.,
WELCH, F.E.: The effect of composition of liquid and powder on the physical properties of silicate-cements. J.dent.Res.(U.S.A.) 30, H. 1, 145, 1951.
30. MESCHKE, H.: Können die Eigenschaften der Zahnzemente durch Kunststoffzusatz verbessert werden? Med. Diss. München, 1959.

31. NIRONEN, P.: Auszüge aus den Untersuchungen über die Biegefestigkeit der Silikatzemente. Schweiz.Mschr.Z. Bd. 50, Nr. 10/869, 1940.
32. PAFFENBARGER, C., SCHOOONOVER, C. and SONDER: Dental silicate cements: physical and chemical properties and a specification. The Dental Cosmos 25/80, H. 1/32, 1938.
33. PAFFENBARGER, G.C., SWANEY, A.C., SCHOOONOVER, I.C., and DICKSON, G.: Dental silicate cement: First Revision, Effective July 1, 1950. J.Americ.Dent.Ass. 40, 186, 1950.
34. RICHTER, M.: Sonderabdruck aus "Handbuch der Werkstoffprüfung" 2. Aufl., Bd. 5.
35. SCHULTE, H.: Vergleichende Untersuchungen über verschiedene bekannte Silikatzemente. Med. Diss. Göttingen, 1938.
36. SCHWARZKOPF, H.: Über klinische und experimentelle Untersuchungen des Silikatzements Diaphat. Z. R. H. 11/12, 216, 1951.
37. SKINNER, E.W.: A comparison of the properties and uses of silicate-cement and acrylic resin in operative dentistry. J. Americ. Dent.Ass. 58, H. 1, 27, 1959.
38. STANICIOIU, G., CHINTA, G., BARTNER, A.: Möglichkeiten zur Verbesserung der Silikatzemente. Stomatologia, Bukarest. H. 4, 369, 1959.
39. STOECKHERT, K.: Kunststoff-Lexikon, II. Aufl. S. 119 und 253. Carl Hanser Verlag, München, 1958.

40. TITKEMEYER, W.: Praktisches und Theoretisches zu den Silikatfüllungen. Korr.Bl.Z. 62, H. 6, 179 und H. 7, 223, 1938.
41. WANNENMACHER, E.: Materialkunde. Die Fortschritte der Zahnheilkunde. Bd. 3, 1. Teil, S. 919, 1927.
42. WEIKART, P.: Zur Frage der Prüfungsvorschriften für zahnärztliche Werkstoffe. DZZ 4, H. 24, 1949.
43. ZEISS, C.: Lichtelektrisches Remissionsphotometer "Elrepho". 50 - 660/III - d.
44. ZIMMERMANN, J.: Welches Füllungsmaterial ist heute für approximale Frontzahnfüllungen ohne Ersatz der Schneidekante am besten geeignet? Z.R. 9, 1959.

Lebenslauf

Am 23. August 1929 wurde ich als Tochter des Brandmeisters Wilhelm Förster und seiner Ehefrau Hedwig, geborene Borkert, in Berlin geboren, wo ich auch meine Schulzeit verbrachte. 1950 bestand ich an der Handel-Schule die Reifeprüfung. Bis zu meiner Immatrikulation an der Freien Universität Berlin im Jahre 1952 war ich als Sprechstundenhilfe tätig. Nach 3 Semestern Biologiestudiums ließ ich mich zur Medizinischen Fakultät, Fachrichtung Zahnmedizin, umschreiben und legte im Sommer 1958 mein Staatsexamen ab. Im Oktober 1958 heiratete ich den damaligen Medizinalassistenten Siegfried Dreßler. Nach einigen Monaten Tätigkeit als Assistentin in einer Praxis ging ich mit meinem Mann und unserer inzwischen geborenen Tochter Cathrin für zwei Jahre nach Amerika, wo ich in verschiedenen Krankenhäusern als med. techn. Assistentin arbeitete. Nach unserer Rückkehr war ich 6 Monate als Assistentin auf der Konservierenden Abteilung der Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der F.U. Berlin tätig. Im November 1962 wurde unser zweites Kind, Frank, geboren.

Meine Dissertation begann ich im April 1962.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Eichner möchte ich an dieser Stelle für die Übertragung des Themas und für seine großzügige Unterstützung danken, die er mir als Doktorvater zuteil werden ließ.

Besonderen Dank aber schulde ich auch Herrn Dr. Köhler für seine Anregungen und hilfreiche Beratung und Unterstützung bei Durchführung der Versuche.

Ferner danke ich Herrn Professor Dr. Richter und Herrn Langner und ihren Mitarbeitern von der Bundesanstalt für Materialprüfung für die Hilfe, die sie mir gewährten.

